



TESIS - RC142501

**KEMAMPUAN DAKTILITAS PENAMPANG BALOK BETON
BERTULANG MENGGUNAKAN BAJA TULANGAN MUTU DI
ATAS 500 MPa UNTUK DISAIN STRUKTUR TAHAN GEMPA**

ANGGI RAHMAD ZULFIKAR
3113 202 010

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Tawio S.T, M.T. Ph.D
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2016



TESIS - RC142501

**DUCTILITY OF BEAM USING REINFORCING STEEL BEAM
CONCRETE WITH YIELD STRENGTH ABOVE
500 MPa FOR SEISMIC RESISTING STRUCTURAL DESIGN**

ANGGI RAHMAD ZULFIKAR
3113 202 010

SUPERVISOR
Prof. Tavio Ph.D
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

MASTER PROGRAM
STRUCTURAL ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

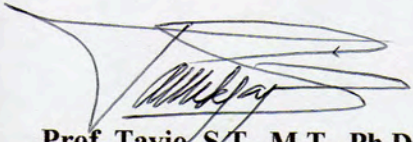
ANGGI RAHMAD ZULFIKAR

NRP. 3113202010


Tanggal Ujian : 14 Juni 2016

Periode Wisuda : September 2016

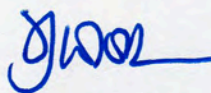
Disetujui Oleh :

1 
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 197003271997021001

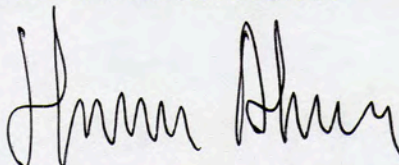
(Pembimbing I)

2 
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka
NIP: 195004031976031003

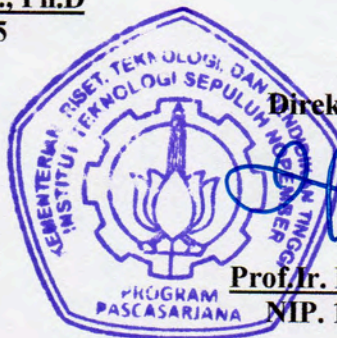
(Pembimbing II)

3 
Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 197301281998021002

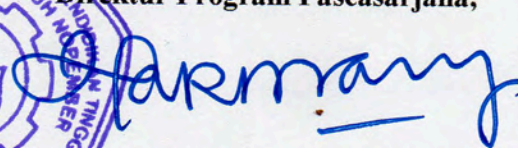
(Penguji)

4 
Harun Alrasyd, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 198308082008121005

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

KEMAMPUAN DAKTILITAS PENAMPANG BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN BAJA TULANGAN DENGAN MUTU DIATAS 500 MPa UNTUK DISAIN STRUKTUR TAHAN GEMPA

Nama Mahasiswa : Anggi Rahmad Zulfikar

NRP : 3113202010

Dosen Konsultasi : Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

ABSTRAK

Perkembangan industri baja Indonesia mengalami kemajuan dengan kemampuan memproduksi baja dengan mutu diatas 500 MPa. Dilapangan banyak digunakan baja dengan mutu 500 MPa yang memiliki nilai tegangan leleh baja (f_y) lebih besar, sehingga struktur dengan beban gravitasi menjadi lebih ekonomis. Baja mutu 500MPa, kurang daktil dan SNI 2847:2013 belum membolehkan pemakaian baja mutu tinggi untuk struktur dengan beban gempa, karena dikhawatirkan akan memicu gaya geser dan tegangan lekatan lebih tinggi pada saat mencapai momen leleh. Keadaan ini akan menjurus terjadi kegagalan getas oleh geser. Disain struktur tahan gempa memakai konsep disain kapasitas dengan detailing yang memungkinkan tercapainya kemampuan energi disipasi yang optimum di sendi-sendi plastis balok dan kolom. Salah satu ukuran tingkat daktilitas suatu struktur adalah Curvature Ductility (μ_ϕ) yang merupakan ratio dari kurvatur ultimit terhadap kurvatur yield (ϕ_u / ϕ_y). Pengukuran μ_ϕ memerlukan diagram tegangan-regangan baja ($f_s - \varepsilon_s$) dan diagram tegangan-regangan beton ($f_c - \varepsilon_c$). Penelitian terdahulu memperlihatkan perilaku deformasi sendi plastis sangat tergantung pada karakteristik $f_s - \varepsilon_s$. Pada daerah sendi plastis dari balok selama gempa rencana, regangan pada tulangan tarik dapat naik lebih banyak dari pada regangan baja sebelum first yield karena adanya flat plateau. Selanjutnya kenaikan yang besar pada kekuatan lentur (flexural overstrength) dari komponen struktur beton bertulang adalah karena adanya strain hardening. Adanya flexural overstrength ini bila tidak diperhitungkan akan menyebabkan kegagalan geser. SNI 2847:2013 telah memberikan nilai $\lambda_o = 1,25$ untuk $f_y = 300$ sampai $f_y = 400$ MPa. Namun belum memberikan nilai λ_o untuk mutu baja diatas 500 MPa. Penelitian baja dengan mutu 500 MPa hasil produksi Indonesia ini menghasilkan diagram $f - \varepsilon$ baja yang mendekati model diagram $f - \varepsilon$ baja yang diusulkan oleh Mander. Diagram $f - \varepsilon$ baja ini digunakan untuk analisa momen kurvatur. Hasil akhir dari analisa momen kurvatur, berupa nilai kurvatur daktiliti (μ_ϕ) yang lebih dari 20 dan nilai flexural overstrength faktor (λ_o) sebesar 1,47 - 1,58.

Kata kunci: *Disain kapasitas, diagram tegangan-regangan baja dan beton, flexural overstrength faktor (λ_o), Curvature ductility (μ_ϕ), strain hardening*

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

DUCTILITY OF BEAM USING REINFORCING STEEL BEAM CONCRETE WITH YIELD STRENGTH ABOVE 500 Mpa FOR SEISMIC RESISTING STRUCTURAL DESIGN

By : Anggi Rahmad Zulfikar

Student Identify Number : 3113202010

Supervisor : Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

ABSTRACT

Development of Indonesia steels industries have progress with ability to produce steel with f_y value above 500 MPa. In work field steel with f_y value above 500 MPa is widely used. Steel with f_y value above 500 MPa having bigger yield strength, so the structure with the load of gravity becomes more economical. The steels with f_y value above 500 MPa, less ductile and SNI 2847:2013 prohibits the use of high quality steels for the structure to earthquake loads, because it is predicted to arise a shear force and adhesion tension higher when it reaches the yield moment. This situation will lead to brittle failure occurs by shear force. The seismic resisting structural design uses the concept of capacity design with detailing that allows the attainment of optimum energy dissipation capacity in the joints of plastic beams and columns. One of the ductility measure level of a structure is the curvature ductility (μ_ϕ) which is the ratio of curvature ultimate to the curvature yield (ϕ_u / ϕ_y). Measurement μ_ϕ requires the steel stress-strain diagram ($f_s - \varepsilon_s$) and concrete stress-strain diagram ($f_c - \varepsilon_c$). Previous studies showed plastic deformation behavior of joints is highly depended on the characteristics of $f_s - \varepsilon_s$. In the area of the beam plastic joints during earthquake, tensile strain in the reinforcement can be increased more than the steel strain before the first yield because of the flat plateau. The next, major increase in flexural strength of components of reinforced concrete structures are due to strain hardening. If the existence of flexural overstrength is not calculated so it will lead to shear failure. SNI 2847:2013 has provided the value of flexural overstrength factor $= \lambda_o = 1.25$ for $f_y = 300$ MPa up to $f_y = 400$ Mpa But does not give a value of λ_o for steel with f_y value above 500 MPa. Research of steel Indonesia produces with f_y value above 500 Mpa resulted steel stress-strain diagram closes to the steel stress-strain diagram proposed by Mander. Steel stress-strain diagram is used for the analysis of moment curvature. The final results of moment curvature analysis are ductility curvature value (μ_ϕ) which is more than 20 and the flexural overstrength factor (λ_o) = 1.47 to 1.58.

Kata kunci: *Capacity design, steel stress-strain diagram, flexural overstrength faktor (λ_o), Curvature ductility (μ_ϕ), strain hardening*

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Ukuran Baja Tulangan Sirip	13
Tabel 3.2	Toleransi Diameter Baja Tulangan Beton Polos dan Sirip	14
Tabel 3.3	Sifat Mekanis Baja Tulangan.....	15
Tabel 4.1	Dimensi benda uji D13	32
Tabel 4.2	Dimensi benda uji D16	33
Tabel 4.3	Hasil Uji Tarik D13	35
Tabel 4.4	Hasil Uji Tarik D16	36
Tabel 4.5	Nilai Variabel f_y D13 dan D16	38
Tabel 4.6	Nilai Frekuensi Kumulatif Variabel f_y D13 dan D16	41
Tabel 4.7	Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter f_y D13	44
Tabel 4.8	Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter f_y D16	45
Tabel 4.9	Hasil Uji Statistik ke-8 Parameter Baja Yang Di uji Tarik	46
Tabel 4.10	Data Regangan dan Tegangan Rata-Rata D13 dan D16 Aktual	47
Tabel 4.11	Data Regangan dan Tegangan D13 dan D16 Formula Mander	49
Tabel 4.12	Momen Kurvatur f'_c 20 MPa, D16 $f_y = 512,392$ MPa	58
Tabel 4.13	Momen Kurvatur f'_c 20 MPa, D16 $f_y = 275$ MPa	60
Tabel 4.14	Variasi Model Benda Uji $f'_c = 25$ MPa	68
Tabel 4.15	Variasi Model Benda Uji $f'_c = 30$ MPa	68
Tabel 4.16	Variasi Model Benda Uji $f'_c = 35$ MPa.....	69
Tabel 4.17	Daktilitas Kurvatur Penampang Balok Beton Bertulang $f'_c=25$ MPa....	71
Tabel 4.18	Daktilitas Kurvatur Penampang Balok Beton Bertulang $f'_c=30$ MPa....	71
Tabel 4.19	Daktilitas Kurvatur Penampang Balok Beton Bertulang $f'_c=35$ MPa....	72
Tabel 4.20	Pengaruh Rasio Tulangan Terhadap μ_ϕ dan Overstrength Faktor	74

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva $f_s - \epsilon_s$ dengan variasi mutu baja	5
Gambar 2.2	Idealisasi Kurva $f_s - \epsilon_s$ bilinear	6
Gambar 2.3	Diagram $\sigma - \epsilon$ baja	7
Gambar 2.4	Elemen kecil dari balok lentur	8
Gambar 3.1	Flowchart Prosedur Penelitian	11
Gambar 3.2	Posisi Alat UTM pada benda uji	14
Gambar 3.3	Kurva $f_s - \epsilon_s$ usulan mander dan kawan - kawan	19
Gambar 3.4	Kurva $f_s - \epsilon_s$ Kusuma-Tavio	21
Gambar 3.5	Teori Analisa Momen - Kurvatur	24
Gambar 3.6	Definisi dari kurvatur daktiliti	24
Gambar 4.1	Gambar Daerah Uji Tarik Benda Uji	34
Gambar 4.2	Diagram Tegangan dan Regangan Baja	37
Gambar 4.3	Grafik Distribusi Normal Parameter f_y D13	42
Gambar 4.4	Grafik Distribusi Normal Parameter f_y D16	42
Gambar 4.5	Kurva Tegangan Regangan Baja Aktual-Mander D16	50
Gambar 4.6	Penampang Balok	51
Gambar 4.7	Penampang Balok Terkekang	52
Gambar 4.8	Penampang dan Diagram Regangan Tekan Balok	54
Gambar 4.9	Momen Kurvatur Model Uji D16	63
Gambar 4.10	Hubungan Momen – Kurvatur Daktiliti D13	70
Gambar 4.11	Hubungan Momen – Kurvatur Daktiliti D16	70
Gambar 4.12	Daktilitas Kurvatur-Rasio Tulangan Berdasarkan Tipe Balok	72
Gambar 4.13	Daktilitas Kurvatur-Rasio Tulangan Berdasarkan Tipe Balok	72
Gambar 4.14	Daktilitas Kurvatur-Rasio Luas Tulangan Baja	73
Gambar 4.15	Daktilitas Kurvatur-Rasio Luas Tulangan Baja	73

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

NOTASI

a	= tinggi block stress
A_s	= luas tulangan longitudinal
A_{s1}	= luas tulangan tekan
A_{s2}	= luas tulangan tarik
A_c	= luas beton
b	= lebar penampang beton
b_c	= lebar beton inti
b_i	= jarak antar tulangan longitudinal yang dihitung dari pusat ke pusat tulangan
c_u	= garis netral pada kurvatur ultimit
c_y	= garis netral
d	= tinggi penampang efektif
d_c	= tinggi beton inti
d_h	= diameter sengkang
d_{tul}	= diameter tulangan longitudinal
d_1	= jarak tulangan tekan keserat tekan terluar dari beton
d_2	= jarak tulangan tarik keserat tekan terluar dari beton
D_{max}	= absolut dari perbedaan nilai frekuensi komulatif data terhadap frekuensi komulatif dari salah satu teori distribusi
E_s	= modulus elastisitas baja (young's modulus)
E_{sh}	= modulus strain hardening baja
E_c	= modulus elastisitas beton
E_t	= tangen modulus
E_s	= modulus elastisitas baja (young's modulus)
E_{sh}	= modulus strain hardening baja

E_c	= modulus elastisitas beton
E_t	= tangen modulus
E_s	= modulus elastisitas baja (young's modulus)
E_{sh}	= modulus strain hardening baja
E_c	= modulus elastisitas beton
f_c	= kuat tekan beton (tidak terkekang)
f_{cc}	= kuat tekan beton terkekang
f_y	= tegangan leleh baja
f_{su}	= tegangan ultimit baja
f_{sh}	= tegangan strain hardening baja
h	= tinggi balok beton
j	= nomor sampel
kd	= tinggi garis netral
M	= momen
M_{max}	= momen ultimit aktual
M_i	= momen yield aktual
M_i'	= momen yield ideal
M_u	= momen ultimit ideal
M_y	= momen yield
n	= jumlah sampel
n_1	= jumlah tulangan tekan
n_2	= jumlah tulangan tarik
u_1, u_2	= nilai random (0 – 1)
α	= faktor efektifitas dari kekangan
ε_s	= regangan
ε_y	= regangan leleh baja
ε_{su}	= regangan ultimit baja

ε_{sh}	= regangan strain hardening baja
ε_c	= regangan beton
ε_{co}	= regangan beton pada f_c (tidak terkekang)
ε_{cc}	= regangan beton pada f_{cc} (terkekang)
ε_{spall}	= regangan spall untuk beton tidak terkekang
$\varepsilon_{cm} = \varepsilon_{ca}$	= regangan beton pada serat tekan terluar
μ_ϕ	= kurvatur daktiliti
ϕ	= kurvatur
ϕ_y	= kurvatur yield
ϕ'_y	= kurvatur yield yang sesuai dengan nilai M'_i
ϕ_u	= kurvatur ultimate
λ_o	= overstrenght faktor
ω_w	= rasio volume dari sengkang terhadap kuat tekan beton tidak terkekang

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa pada Bab IV dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil uji tarik dan uji statistik untuk mutu baja diatas 500 MPa hasil produksi Indonesia menghasilkan nilai mean $f_y = 491,272$ MPa untuk tulangan D13 dan nilai mean $f_y = 512,392$ untuk tulangan D16
2. Menghasilkan diagram $f-\epsilon$ baja yang mendekati model diagram $f-\epsilon$ baja yang diusulkan oleh Mander.
3. Analisa momen kurvatur menunjukkan, mutu baja D13 dengan mean $f_y = 491,272$ MPa ini memiliki nilai μ_ϕ rata-rata = 50,849 dan untuk mutu baja D16 dengan mean $f_y = 512,392$ ini memiliki nilai μ_ϕ rata-rata = 30,099 , dapat disimpulkan baja dengan mean f_y tersebut diatas memiliki nilai μ_ϕ yang cukup untuk elemen struktur dengan beban gempa, karena nilai μ_ϕ sesuai peraturan SNI, minimal 16 .
4. Mutu baja D13 dengan mean $f_y = 491,272$ MPa ini memiliki nilai flexural overstrength faktor $(\lambda_o) = 1,242 - 1,258$, dan Mutu baja D16 dengan mean $f_y = 512,392$ MPa ini memiliki nilai flexural overstrength faktor $(\lambda_o) = 1,379 - 1,438$ hal ini memberikan pertimbangan bagi perencana dalam menggunakan mutu baja dengan nilai mean $f_y = 491,272$ Mpa dan $f_y = 512,392$ Mpa, overstrength faktor yang digunakan harus = 1,242 - 1,258 untuk tulangan D13 dan harus 1,379 - 1,438 untuk tulangan D16, bukan lagi 1,25 seperti yang disarankan SNI, karena nilai 1,25 hanya untuk baja dengan mutu 300 - 400 MPa.
5. Nilai kurvatur daktiliti untuk struktur yang berperilaku elastik penuh adalah sebesar 1, sedangkan untuk daktil parsial sebesar 1,5 (SNI 1726) atau 2 (Priestly, 1992), untuk daktil penuh nilai kurvatur daktiliti struktur minimal 5,3 (SNI 1726) atau 4 (Priestly, 1992). Untuk mengkonversi daktilitas struktur ke daktilitas elemen, berdasarkan priestly, nilai kurvatur

daktiliti elemen minimal 4 kali lebih besar dari nilai kurvatur daktiliti struktur.

6. Berdasarkan penelitian ini untuk meningkatkan nilai kurvatur daktiliti elemen balok dapat dilakukan dengan cara memperbesar dimensi balok, mengurangi rasio tulangan dan mutu beton yang dipakai untuk diperoleh kemampuan layan yang diinginkan.
7. Nilai untuk flexural overstrength factor mutu baja di atas 500 MPa ini belum diatur dalam SNI. Hal ini memberikan pertimbangan bagi perencanaan dalam menggunakan mutu baja dengan nilai f_y di atas 500 MPa

5.2 Saran

Agar diperoleh hasil yang lebih sempurna perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang bahan atau komposisi material penyusun baja tulangan yang dibuat dan juga akan dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai kurvatur daktiliti dan overstrength factor. Karena bisa terjadi kemungkinan dengan beda pabrik dan beda bahan atau komposisi material penyusun baja tulangan menyebabkan terjadinya perbedaan pula pada parameter karakteristik baja seperti f_y , f_{su} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , E_s dan E_{sh} sehingga dapat menghasilkan nilai kurvatur daktiliti dan overstrength factor yang berbeda pula.

Selain meningkatkan tegangan baja, pabrik baja di Indonesia diharapkan dapat meningkatkan regangan baja agar kemampuan daktilitas baja tulangan juga semakin meningkat.

Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan studi eksperimental untuk elemen balok beton, yang di uji di laboratorium sehingga dapat dibandingkan dengan elemen beton yang distudi menggunakan pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad, K.; Suhardjono A.; and Tavio (2013), Experimental Behavior of Seismic-Resistant Structural RC Columns Retrofitted with CFRP as External Confinement. *Journal of Integrated Technology*, 1(1), pp. 30-36.

Astawa, I M.D.; Raka, I G.P.; and Tavio (2013), Shear behavior of joint partial prestressed concrete beam-column reinforced concrete of ductile frame structure building in a secure residents and for settlement environment, The 4th Int. Conf. on Applied Tech., Science & Arts (APTECS), ITS, Surabaya, Indonesia.

Astawa, I M.D.; Raka, I G.P.; and Tavio (2012), Ductile of structure framework of earthquake resistant of high rise building on exterior beam-column joint with the partial prestressed concrete beam-column reinforced concrete, The 2nd Int. Conf. on Rehabilitation and Maintenance in Civ. Eng., Solo, March 8th-10th

Astawa, I M.D.; Tavio; and Raka, I G.P. (2014), “Behavior of Partially Prestressed Concrete Exterior Beam-Column Joint for Highly Seismic Zones”, Paper on Proceedings of the 6th International Conference of Concrete of ACF, Korea.

Andriono Takim (1986), Properties of Reinforcing Steel Used In Seismic Design, Report submitted in partial fulfilment of the Requirments for the Degre of Master of Engineering at the University of Canterbury.

Aoyama, Hiroyuki (2001), “Design of Modern Highrise Reinforced Concrete Structures”, Imperial College Press, London., 442 pp.

Armeyn (2012), “Analisa dan Kajian Hubungan Momen – Kurvatur Pada Balok Beton Bertulang”, *Jurnal Momentum* , Vol. 12, No. 1, hal. 3.

Dieter, G. E. (1987), “*Mechanical Metallurgy*, McGraw Hill Book Company, New York

Kappos, A. J.; dan Konstantinidis, D., “*Statistical Analysis of Confined High-Strength Concrete Columns*,” *Material and Structures*, V. 32, Dec. 1992, hal. 734-748.

Kusuma, B.; and Tavio, “*Unified Stress-Strain Model for Confined Columns of Any Concrete and Steel Strengths*,” *Proceeding of the International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation*, 14-15 Apr. 2008, Jakarta, Indonesia, hal. 502-509.

Kusuma, B.; Tavio; and Suprobo, P. (2015), Behavior of Concentrically Loaded Welded Wire Fabric Reinforced Concrete Columns with Varying Reinforcement Grids and Ratios, *International Journal of ICT-aided Architecture and Civil Engineering*, Vol.2, No.1, pp.1-14

Lim Wai Tat (1991), *Statistical Analysis of Reinforcing Steel Properties*, University of Canterbury Christchurch, New Zealand.

Nawy, E.G., (1996), “*Reinforced Concrete, Fundamental Approach*”, 3rd ed, Prentice-Hall Inc., New York.

Mander, J. B; Priestley, N.; dan Park, R., 1988, “*Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 114, No. 8, hal. 1804-1823.

Park.R; Paulay. T (1975), *Reinforced Concrete Struktures*, John Wiley and Sons

Priestley, M.J.N; Paulay,T (1990), “*Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*”, John Wiley and Sons, , 3rd edition.

Pudjisuryadi, P.; and Tavio (2013), Compressive Strength Prediction of Square Concrete Columns Retrofitted with External Steel Collars. *Civil Engineering Dimension*, 15(1), pp. 18-24.

Pudjisuryadi, P.; Tavio; and Suprobo, P. (2015), Performance of square reinforced concrete columns externally confined by steel angle collars under

combined axial and lateral load, The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5), Procedia Engineering, Elsevier Ltd.

Pudjisuryadi, P.; Tavio; and Suprobo, P. (2014), Analytical Confining Model of Square Reinforced Concrete Columns using External Steel Collars. International Journal of ICT-aided Architecture and Civil Engineering, 1(1), pp. 1-18.

Pudjisuryadi, P.; Tavio; and Suprobo, P. (2011), Transverse Stress Distribution in Concrete Columns Externally Confined by Steel Angle Collars. Proceedings of the 2nd International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (ICEEDM-II), Surabaya, Indonesia.

Raka, I G.P.; Tavio; and Astawa, I M.D. (2014), “State of the Art Report on Partially Prestressed Concrete Earthquake Resistance Building Structures for Highly Seismic Region” Paper on 2nd International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Material, Elsevier Procedia Engineering.

Raka, I G.P.; Tavio; and Astawa, I M.D. (2011), Elements of structure joint of partial prestressed concrete beam-concrete reinforcement column, earthquake resistant and ductile on bearers special moment frame system, The 1st Indonesian Struct. Eng. and Mat. Symposium.

Raka, I G.P.; Tavio; and Astawa, I M.D. (2011), Element structure model, partial prestressed concrete beam-column reinforced concrete connecting in the story building framework of earthquake resistant, The 2nd Int. Conf. on Applied Tech., Science& Arts (APTECS), ITS, Surabaya, Indonesia.

Sivarja M. & S. Kandasany (2011), “*Potential Reuse of Waste Rice Husk as Fibre Composite in Concrete*”, International Journal of Civil Engineering (Building and Housing), Vol 12 No.2p : 2015 – 217

Susanti Eka (2012), “Kemampuan Daktilitas Baja Tulangan Dengan Mutu Diatas 400 MPa Untuk Disain Struktur Tahan Gempa”, Seminar Nasional Pascasarjana, Surabaya.

Standar Nasional Indonesia. 2002b. SNI-1726-2002 – Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Standar Nasional Indonesia. 2002a. SNI-03-2847-2002 - Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia.

Standar Nasional Indonesia.2002 SNI-07-2052-2002 –Baja Tulangan, Standar Nasional Indonesia.

Tavio (2008), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (ACI 318R-08). Discussion and Closure, Concrete International, American Concrete Institute (ACI), 30(4), pp. 1-171.

Tavio (2006), Interactive Mechanical Model for Shear Strength of Deep Beams. Discussion, Journal of Structural Engineering, ASCE, 132(5), pp. 826-829.

Tavio; Achmad, K.; Parmo; and Sulistiawan, A. (2013), Strength and Ductility of RC Columns Retrofitted by FRP under Cyclic Loading. Proceedings of the 4th International Conference on Applied Technology, Science, and Arts (APTECS-IV), Surabaya, Indonesia.

Tavio; Budiantara, I.N.; and Kusuma, B. (2008), Spline Nonparametric Regression Analysis of Stress-Strain Curve of Confined Concrete. Civil Engineering Dimension, 10(1), pp. 14-27.

Tavio; and Kusuma, B. (2015), Analytical model for axial stress-strain behavior of welded reinforcement grid confined concrete columns, Journal of Asian Concrete Federation, Vol. 1, No. 1, pp. 1-10, Sep. 2015.

Tavio; and Kusuma,, B. (2009), Stress-Strain Model for High-Strength Concrete Confined by Welded Wire Fabric. Discussion, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 21(1), pp. 40-45.

Tavio; Kusuma, B.; and Suprobo, P. (2012), Experimental Behavior of Concrete Columns Confined by Welded Wire Fabric as Transverse Reinforcement under Axial Compression. ACI Structural Journal, 109(3), pp. 339-348.

Tavio; Pudjisuryadi, P.; and Suprobo, P. (2015), Strength and ductility of external steel collared concrete, columns under compressive loading, Journal of Asian Concrete Federation, Vol. 1, No. 1, pp. 47-56, Sep.

Tavio; Suprobo, P.; and Kusuma, B. (2011), Investigation of Stress-Strain Models for Confinement of Concrete by Welded Wire Fabric. Journal of Procedia Engineering, 14, pp. 2031-2038.

Tavio; Suprobo, P.; and Kusuma, B. (2008), Strength and Ductility Enhancement of Reinforced HSC Columns Confined with High-Strength Transverse Steel', Proceedings of the Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-11), Taipei, Taiwan.

Tavio; Suprobo, P.; and Kusuma, B. (2008), Ductility of Confined Reinforced Concrete Columns with Welded Reinforcement Grids. Proceedings of the International Conference Excellence in Concrete Construction through Innovation, London, UK.

Tavio; Suprobo, P.; and Kusuma, B. (2007), Effects of Grid Configuration on the Strength and Ductility of HSC Columns Confined with Welded Wire Fabric under Axial Loading. Proceedings of the 1st International Conference on Modern, Construction and Maintenance of Structures, Hanoi, Vietnam.

Tavio; and Tata, A. (2009), Predicting Nonlinear Behavior and Stress-Strain Relationship of Rectangular Confined Concrete Columns with ANSYS. Civil Engineering Dimension, 11(1), 23-31.

Tavio; and Tata, A. (2008), Stress-Strain Relation and Nonlinear Behavior of Circular Confined Reinforced Concrete Columns. *Journal of Communication Media in Civil Engineering*, 16(3), pp. 255-268.

Tavio; and Teng, S. (2004), Effective Torsional Rigidity of Reinforced Concrete Members. *ACI Structural Journal*, 101(2), pp. 252-260.

Tavio; Wimbadi, I.; Negara, A.K.; and Tirtajaya, R. (2009), Effects of Confinement on Interaction Diagrams of Square Reinforced Concrete Columns. *Civil Engineering Dimension*, 11(2), pp. 78-88.

Teng, S.; and Tavio (2003), Deflections of Flat Plate Floors with Irregular Column Layout. *Deflection Control for the Future*, ACI SP-210, American Concrete Institute (ACI), pp. 37-63.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis ini bernama **Anggi Rahmad Zulfikar ST** dilahirkan di kota Surabaya , 11 Juni 1987, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Yamastho Surabaya, SD Yamastho Surabaya, SLTPN 35 Surabaya,dan MAN 1 Jombang. Pada tahun 2006 , penulis diterima di program Studi Diploma III Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang dengan NIM 0631310064. Di Program Studi Diploma III Teknik Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis sempat mengikuti kegiatan magang kerja di Proyek Pembangunan Gedung Serba Guna PT. Semen Gresik pada bagian Quality Engineer. Pada tahun 2010, Penulis diterima di Program Studi S1 Lintas Jalur Teknik Sipil FTSP-ITS dengan NRP 3110 105 034. Di Program Studi S1 Lintas Jalur Teknik Sipil FTSP-ITS mengambil Proyek Akhir Struktur Jembatan. Dan pada tahun 2013, Penulis melanjutkan studi S2 dengan Beasiswa Fresh Graduate dari ITS dengan NRP 3113 202 010. Di Program Studi Pasca Sarjana ini penulis mengambil jurusan Teknik Sipil dengan Bidang Studi Struktur.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur pada daerah dengan tingkat resiko gempa tinggi harus mengikuti konsep desain struktur tahan gempa. Menurut SNI 03-1726-2013, struktur tahan gempa tidak roboh pada saat terjadinya gempa kuat dan hanya mengalami kerusakan kecil pada saat terjadinya gempa sedang. Perilaku ini dapat tercapai bila komponen-komponen struktur memiliki kemampuan untuk menyerap dan memancarkan energy gempa melalui mekanisme terbentuknya sendi plastis. Oleh karena itu, komponen-komponen struktur harus memiliki daktilitas untuk mampu mempertahankan kapasitasnya/kekuatannya setelah mengalami deformasi inelastik yang cukup besar sebelum mengalami keruntuhan (IK,Sudarsana, 2010)

Desain bangunan tahan gempa mengalami perubahan menjadi desain kapasitas. Dimana beban gempa nominal ditahan seluruhnya oleh struktur dalam bentuk kuat nominal dan beban gempa rencana diserap dalam bentuk deformasi inelastis (disipasi energi). Daktilitas komponen struktur memungkinkan tercapainya kemampuan energi disipasi yang optimum di sendi-sendi plastis balok dan kolom (Priestley dkk, 1990).

Industri baja di Indonesia semakin meningkat dengan pesat. Begitu juga tuntutan perencanaan konstruksi di Indonesia yang semakin banyak. Industri baja mulai mengembangkan mutu baja di atas 500 Mpa.

Baja dengan mutu diatas 500 MPa memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi dari baja dengan mutu 300 MPa dan 400 MPa, Penggunaan baja diatas 500 Mpa akan memudahkan dalam pemasangan tulangan di lapangan nantinya karena jumlah baja tulangan yang digunakan akan menjadi lebih sedikit.

Namun baja dengan mutu diatas 500 MPa memiliki nilai regangan putus yang lebih pendek dari baja dengan mutu 300 MPa dan 400 MPa, sehingga struktur dengan beban gempa masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Peraturan SNI 2847:2013 hanya mengatur pemakaian baja tulangan dengan nilai

$f_y = 300$ dan 420 MPa. Karena pemakaian baja dengan mutu diatas 400 MPa untuk tulangan memanjang dikuatirkan akan memicu gaya geser dan tegangan lekatan lebih tinggi pada saat mencapai momen leleh. Keadaan ini akan menjurus terjadinya kegagalan getas oleh geser.

Salah satu ukuran tingkat daktilitas suatu struktur adalah Curvature Ductility (μ_ϕ). μ_ϕ merupakan ratio dari kurvatur ultimit terhadap kurvatur yield (ϕ_m/ϕ_y) dari penampangkomponen-komponen struktur. Pengukuran ini memerlukan diagram tegangan-regangan baja ($f_s - \epsilon_s$) dan diagram tegangan-regangan beton ($f_c - \epsilon_c$). Diagram $f_s - \epsilon_s$ diawali dengan garis linier sampai titik leleh, lalu setelah “flat plateau” akan ada kenaikan f_s ($f_s > f_y$), daerah ini dinamakan Strain Hardening (Priestly 1990). Semakin tinggi mutu baja, semakin tinggi kurva didaerah strain hardening ($f_s \gg f_y$), dengan kata lain, terjadi kenaikan kekuatan lentur (flexural overstrength).

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberi perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem (Dipohusodo, 1999)

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini dititik beratkan pada studi bentuk diagram $f_s - \epsilon_s$ baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa Baja tulangan hasil produksi PT. Bhirawa Steel. Sehingga secara lebih detail permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana bentuk diagram $f_s - \epsilon_s$ baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa?
2. Apakah penampang balok dengan menggunakan baja tulangan mutu diatas 500 MPa memiliki nilai μ_ϕ yang cukup ?

3. Berapakah nilai λ_o untuk penampang balok dengan menggunakan baja tulangan mutu diatas 500 MPa yang distudi ?
4. Bagaiman perilaku struktur balok terhadap baja mutu diatas 500 MPa?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Material baja yang diteliti:
Studi statistik baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa, baja hasil produksi Indonesia. Mutu baja diatas 500 Mpa dan diameter tulangan D-13 dan D-16. Dilakukan uji tarik baja dengan sample sebanyak 40 benda uji untuk mendapatkan ke-6 nilai karakteristik baja sebagai data diagram tegangan-regangan baja aktual.
2. Material beton yang diteliti:
Mutu beton yang digunakan f_c 25 MPa, f_c 30 Mpa dan f_c 35 Mpa, data yang didapat dari penelitian sebelumnya
3. Penelitian ini hanya meneliti elemen struktur balok bertulang dengan bentuk persegi panjang.
4. Penelitian berupa simulasi komputer dengan merandom nilai-nilai karakteristik dari material baja
5. Perhitungan nilai μ_ϕ menggunakan analisa momen-kurvatur dengan menggunakan program hitung komputer yang dibuat menggunakan Macros Exel.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan diagram $f_s - \varepsilon_s$ baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa yang akan diujikan
2. Menentukan batas kemampuan μ_ϕ struktur balok yang menggunakan baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa.

3. Menentukan λ_o struktur balok yang menggunakan baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa.
4. Mengetahui pengaruh dimensi balok, rasio tulangan, mutu sengkang dan jarak sengkang terhadap nilai μ_ϕ dan λ_o .

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai bahan pertimbangan pemakaian baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa untuk struktur balok beton bertulang tahan gempa yang dalam SNI 2847:2013 masih belum diperkenankan dan dibatasi pemakaian mutu baja tulangan untuk geser hanya sampai dengan 420 MPa. Dan untuk mengetahui hasil dari produk baja tulangan produksi dalam negeri

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu oleh Takim Indriono (1986):

- Digunakan material baja hasil produksi Pacific Steel, Ltd, of Auckland.
- Secara umum, variasi dari jumlah tulangan longitudinal, mutu beton, sengkang dan bentuk balok tidak memberikan efek yang signifikan terhadap nilai flexural overstrength factor (λ_o).
- Mutu baja 275 MPa memiliki nilai $\lambda_o = 1,19$ sampai 1,4
- Mutu baja 380 MPa memiliki nilai $\lambda_o = 1,52$ sampai 1,68

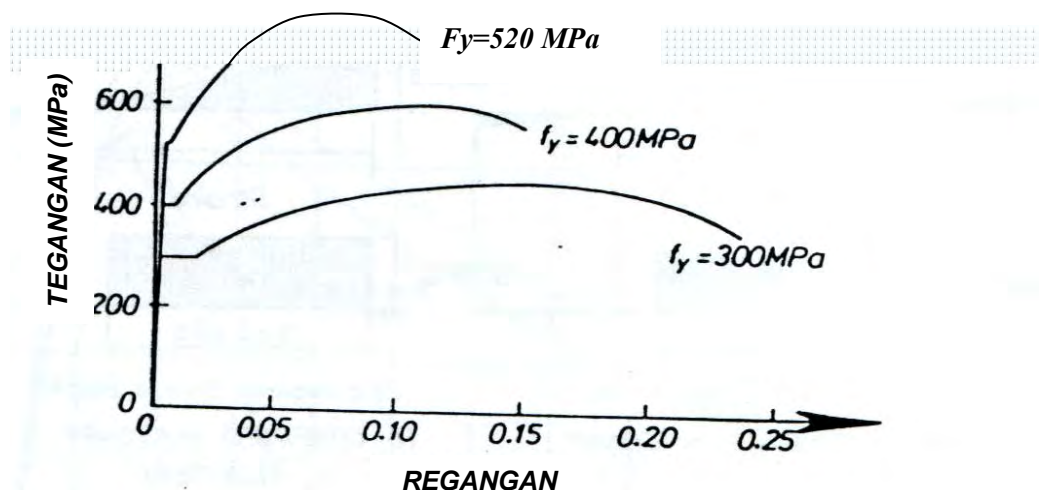
Penelitian terdahulu oleh Eka Susanti (2012):

- Mutu baja 380 MPa memiliki nilai $\lambda_o = 1,471$ sampai 1,576

2.2. Baja Mutu Tinggi

2.2.1. Keuntungan baja mutu tinggi

Baja dengan mutu yang lebih tinggi memiliki banyak keuntungan bila dipakai dalam konstruksi beton bertulang. Keuntungannya adalah :



Gambar 2.1. Kurva $f_s - \epsilon_s$ dengan variasi mutu baja

Baja dengan mutu yang lebih tinggi memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi, seperti terlihat pada gambar 2.1, sehingga struktur dengan beban gravitasi menjadi lebih ekonomis karena jumlah baja tulangan yang dipakai menjadi lebih sedikit dan memudahkan dalam pemasangan tulangan.

2.2.2. Kelemahan baja mutu tinggi

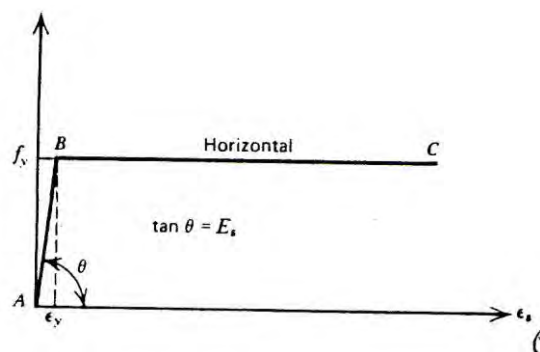
Selain memiliki keuntungan, Baja dengan mutu yang lebih tinggi juga memiliki kelemahan, diantaranya adalah :

Baja dengan mutu yang lebih tinggi memiliki nilai regangan putus yang lebih pendek (kurang daktil), sehingga struktur dengan beban gempa masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Pemakaian baja dengan mutu yang lebih tinggi dari 500 MPa untuk tulangan memanjang dikuatirkan akan memicu gaya geser dan tegangan lekatan lebih tinggi pada saat mencapai momen leleh. Keadaan ini akan menjurus terjadinya kegagalan getas oleh geser.

2.3. Perilaku Tegangan Regangan Baja ($f_s - \epsilon_s$)

2.3.1 Tegangan Regangan Baja Bilinier

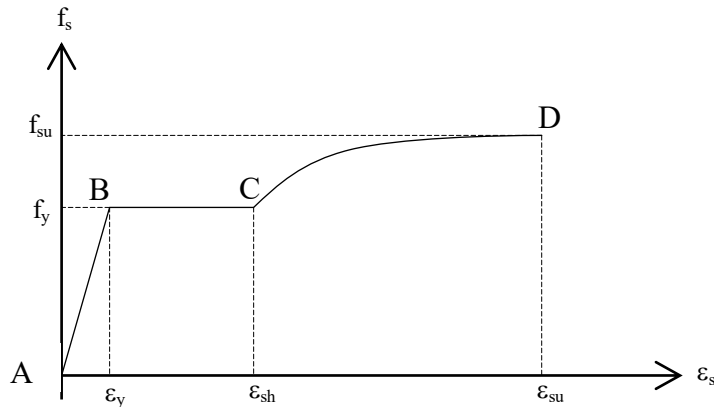
Dalam disain sangat penting untuk mengidealisasikan bentuk kurva $f_s - \epsilon_s$. Secara umum kurva yang sederhana diidealisasikan dengan dua garis lurus, seperti Gambar 2.2 Kurva ini mengabaikan nilai upper yield point dan kenaikan f_s oleh strain hardening. Ini adalah kurva $f_s - \epsilon_s$ yang diasumsikan oleh peraturan ACI. Penyederhanaan ini tepat untuk disain struktur dengan beban gravitasi yang tidak memerlukan regangan strain hardening (ϵ_{sh}).



Gambar 2.2. Idealisasi Kurva $f_s - \epsilon_s$, bilinear

2.3.2 Tegangan Regangan Baja Lengkap

Park dan Paulay (1975), kurva f_s - ε_s dengan beban monotonik memperlihatkan dengan jelas upper dan lower yield strength seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram σ - ε Baja

Kurva tersebut memperlihatkan bagian :

- A-B adalah linier (elastic)
- Bagian B-C adalah yield plateau, dimana ε_s naik diikuti dengan/tanpa kenaikan f_s
- Bagian C-D adalah strain hardening, dimana f_s naik seiring dengan kenaikan ε_s .

Ada juga kurva f_s - ε_s yang dilanjutkan dengan bagian akhir dimana ε_s naik namun f_s semakin turun lalu putus.

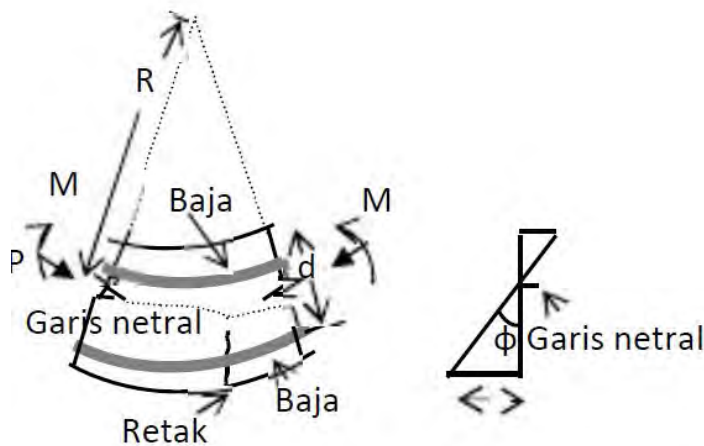
2.3.3 Tegangan Regangan Baja Dengan Variasi Mutu Baja

Dari Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa, baja mutu tinggi memiliki nilai f_y yang lebih tinggi, daerah yield plateau yang lebih pendek, nilai f_s pada fase strain hardening yang lebih tinggi dan ε_{su} yang lebih kecil. Baja mutu tinggi memiliki daerah strain hardening yang lebih pendek dan putus dengan nilai regangan yang lebih pendek dibandingkan baja mutu rendah. Dengan kata lain baja mutu rendah mampu berdeformasi lebih besar.

2.4. Kurvatur (ϕ) dan Kurvatur Daktiliti (μ_ϕ)

Kurvatur pada balok didefinisikan sebagai rotasi per unit panjang. Nilai kurvatur bervariasi sepanjang balok, meskipun berada pada daerah momen yang konstan, karena sepanjang daerah tarik beton memiliki nilai regangan dan tinggi garis netral yang bervariasi. Elemen kecil balok yang mengalami retak, gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen tersebut dan diagram regangannya dapat digambarkan pada gambar 2.4.

Sedangkan daktilitas kelengkungan (curvature ductility, μ_ϕ) merupakan perbandingan sudut lengkungan maksimum (ultimate) dengan sudut lengkungan leleh elemen struktur.



Gambar 2.4 Elemen kecil dari balok lentur (Armeyn, 2012)

Gambar 2.4 merupakan elemen kecil dari balok lentur (dx) dengan R = radius kurvatur, k_d = tinggi garis netral, ϵ_c = regangan beton pada regangan ekstrem penampang, ϵ_s = regangan tarik baja (Park dan Paulay 1975).

2.5. Overstrength Factor

Sangat penting untuk menentukan nilai maksimal yang mungkin dicapai pada kuat lebih lentur penampang (flexural overstrength) dalam disain kapasitas penampang. Overstrength dihasilkan dari variasi nilai f_s aktual baja tulangan yang melebihi f_y nominal saat baja tulangan pada daktilitas tinggi mengalami strain hardening (Priestly 1990).

2.6. Baja Tulangan

Dalam Nawy (1998) disebutkan bahwa sifat-sifat terpenting baja tulangan meliputi :Modulus Young (E), kekuatan leleh (f_y),kekuatan batas (f_u), mutu baja yang ditentukan, dimensi batang atau kawat.

Untuk mengurangi resiko bencana diperlukan konstruksi bangunan tahan gempa(Sivarja dan Kandasany, 2011).

Penggunaan baja tulangan dengan mutu tinggi $f_y = 520$ MPa dipakai untuk mengurangi kesulitan pemasangan dan pelaksanaan akibat banyaknya jumlah tulangan yang dipakai pada balok-balok outrigger yang menghubungkan perimeter kolom luar dengan dinding geser di tengah dari sistim struktur utama pemikul gaya lateral bangunan Triumph International Hotel & Tower (2006) Chicago; sebuah bangunan beton bertulang 92 lantai di rencanakan selesai pada tahun 2009 yang merupakan bangunan beton tertinggi yang pernah di bangun USA.(Hadi Rusjanto, 2008)

Beberapa contoh penggunaan baja mutu tinggi dengan $f_y \leq 500$ MPa yang harus memenuhi syarat daktilitas secara eksplisit masih diperkenankan seperti halnya dalam NZS, AS dan CSA. Jepang yang dikenal sebagai negara dengan intensitas gempa yang paling tinggi di dunia sejak tahun 1990 melalui program lima tahunan sudah merintis penggunaan baja mutu tinggi dengan $f_y \leq 700$ MPa untuk baja tulangan utama dan $f_y \leq 1000$ MPa untuk baja tulangan sengkang/pengekang, Aoyama (2001).

Sifat mekanis suatu material perlu dikenal secara baik, karena material digunakan untuk berbagai keperluan pada berbagai keadaan. Sifat mekanis ditentukan oleh jenis dan perbandingan atom-atom penyusun bahan yang meliputi jenis unsur dan komposisinya, serta lingkungan pada saat pengujian dalam memperoleh sifat mekanis (Dieter, 1987).

Untuk tulangan angkur yang digunakan pada struktur yang dikenai Kategori Desain Seismik C, D, E, atau F harus berupa tulangan ulir dan harus dibatasi dengan Mutu 280 dan 420 ASTM A615M yang memenuhi persyaratan 21.1.5.2(a) dan (b) atau Mutu 420 ASTM A706M.

Untuk Tulangan spiral mengelilingi inti baja structural Kekuatan leleh desain inti baja struktur haruslah kekuatan leleh minimum yang disyaratkan untuk mutu baja struktur yang digunakan tetapi tidak melebihi 350 MPa.

Dan untuk Nilai f_y dan f_{yt} yang digunakan dalam desain tulangan geser tidak boleh melebihi 420 MPa, kecuali nilai tersebut tidak boleh melebihi 550 MPa untuk tulangan kawat ulir las.

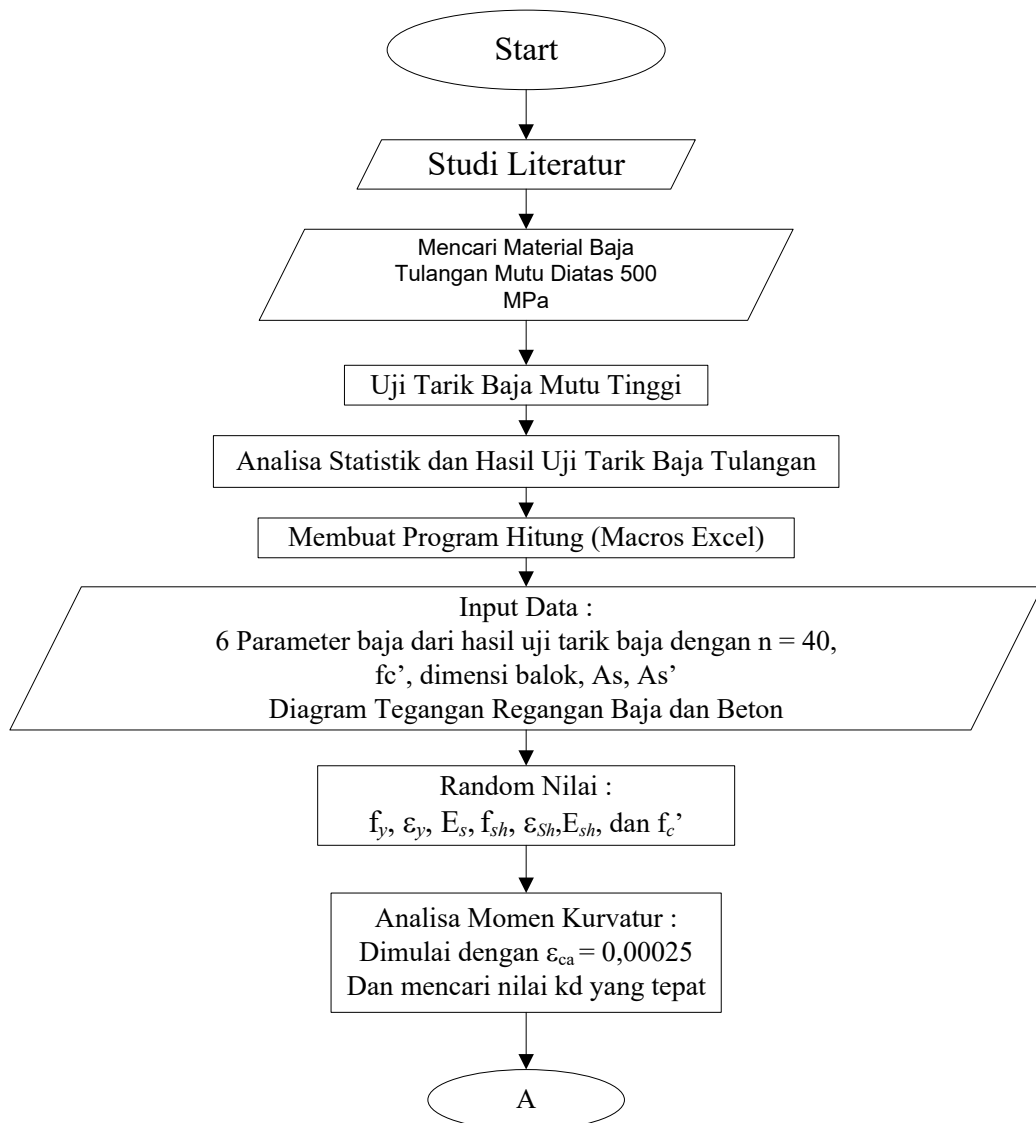
Nilai f_{yt} yang digunakan untuk menghitung jumlah tulangan pengekangan dalam tidak boleh melebihi 700 MPa.

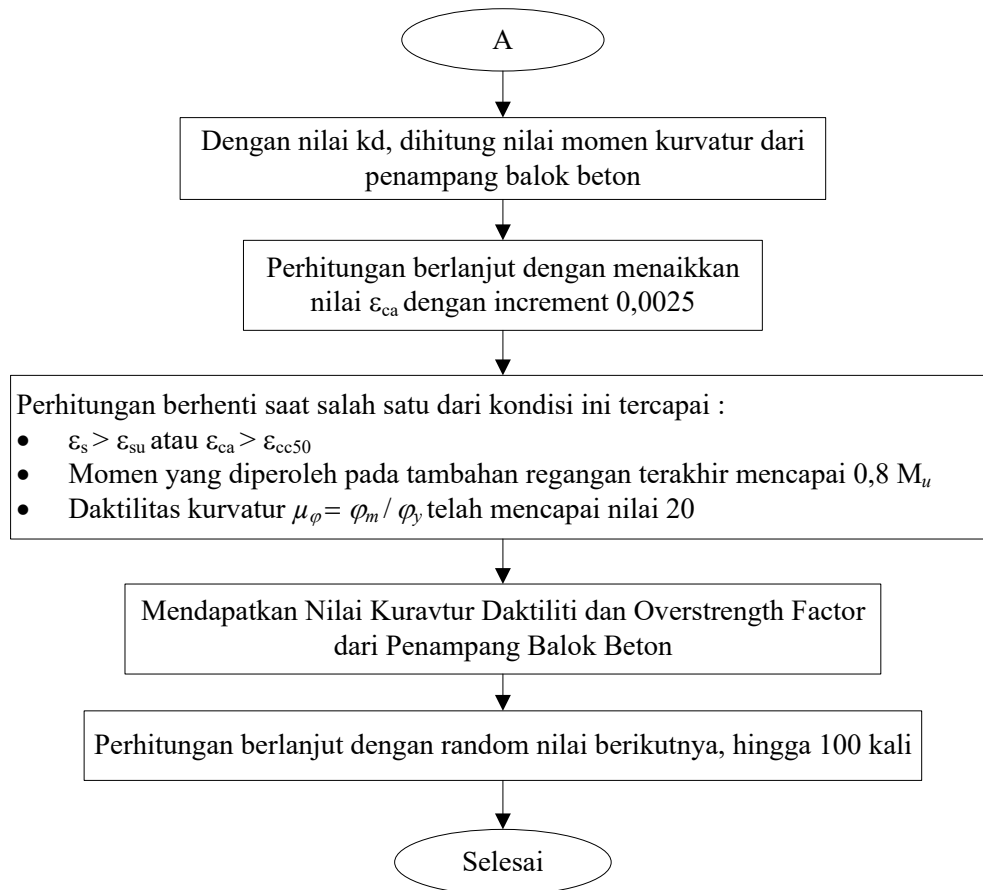
BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian dimulai dari studi literatur, melakukan penelitian , hingga membuat kesimpulan dapat dilihat lebih jelas pada gambar 3.1.





Gambar 3.1. Flowchart Prosedur Penelitian

3.2 Parameter Penelitian

- Material baja yang digunakan untuk penelitian ini adalah baja dengan mutu diatas 500 MPa hasil produksi Indonesia yang diuji tarik ,uji statistik dan dipilih model diagram tegangan regangannya. Diagram tegangan regangan baja yang dihasilkan ini yang digunakan untuk analisa momen kurvatur untuk menghitung kurvatur daktiliti dan overstrength faktor dengan bantuan program hitung yang dibuat dengan macros excel. Sebagai validasi hasil perhitungan program yang dibuat, dihitung juga kurvatur daktiliti dan overstrength faktor dengan baja mutu 275 MPa dan 380 MPa yang data-data statistiknya didapat dari hasil penelitian Takim Indriono (1986) yang menggunakan material baja hasil produksi Pacific Steel, Ltd, of Auckland.
- Mutu beton yang digunakan $f_c' = 25 \text{ Mpa}, 30 \text{ Mpa}$ dan 35 Mpa .

3.3 Tahapan Penelitian dan Pengumpulan Data

3.3.1. Langkah - Langkah yang dilakukan adalah :

1. Melakukan uji tarik di laboratorium untuk material baja. Model diagram tegangan regangan baja ini yang akan digunakan untuk menghitung kurvatur daktiliti dan overstrength faktor dari elemen balok beton bertulang .
2. Penelitian yang dilakukan berupa simulasi komputer dari elemen balok beton bertulang dengan merandom nilai-nilai karakteristik dari material baja dan mutu beton untuk mencari nilai kurvatur daktiliti dan overstrength faktor.
3. Program hitung dibuat dengan macros excel .

3.3.2. Uji Tarik Baja Tulangan

Berikut data Ukuran Baja Tulangan yang adadalam SNI 07-2052-2002

Tabel 3.1 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip

No	Penamaan	Dia-meter nominal (d)	Luas penampang nominal	Diameter dalam nominal (d _i)	Tinggi sirip melintang		Jarak sirip melintang	Lebar rusuk Meman-jang	Berat nominal
		mm	cm ²	mm	min	maks	(maks)	(maks)	Kg/m
					mm	Mm	Mm	mm	
1	S.6	6	0,2827	5,5	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S.8	8	0,5027	7,3	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S.10	10	0,7854	8,9	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	S.13	13	1,327	12,0	0,7	1,3	9,1	10,2	1,04
5	S.16	16	2,011	15,0	0,8	1,6	11,2	12,6	4,58
6	S.19	19	2,835	17,8	1,0	1,9	13,3	14,9	2,23
7	S.22	22	3,801	20,7	1,1	2,2	15,4	17,3	2,98
8	S.25	25	4,909	23,6	1,3	2,5	17,2	19,7	3,85
9	S.29	29	6,625	27,2	1,5	2,9	20,3	22,8	5,18
10	S.32	32	8,042	30,2	1,6	3,2	22,4	25,1	6,31
11	S.36	36	10,18	34,0	1,8	3,6	25,2	28,3	7,99
12	S.40	40	12,57	38,0	2,0	4,0	28,0	31,4	9,88
13	S.50	50	19,64	48,0	2,5	5,0	38,0	39,3	17,4

Sumber : SNI 07-2052-2002

Baja untuk uji tarik adalah baja dengan mutu diatas 500 MPa hasil produksi Indonesia dengan diameter D-13 dan D-16 sebanyak 40 benda uji untuk masing-masing diameter tulangan, dilakukan uji tarik sesua JIS Z 2201 dan JIS Z 2241. Daerah uji (*test region*) pada baja tulangan adalah 200 mm (JIS Z 2201). Untuk pengujian baja tulangan , dipasang LVDT untuk mendapatkan data deformasi dan Load Cell untuk mendapatkan data pembebanan pada setiap tahapan. LVDT dan Load Cell dihubungkan dengan Data Logger yang mengubah data LVDT dan Load Cell menjadi data digital. Data Logger dihubungkan dengan komputer

untuk mendapatkan data yang lebih representatif. Semua ini dilakukan di Laboratorium Quality Control PT. Bhirawa Steel Indonesia.

Pada pengujian ini didapat enam parameter dasar f_y , ε_y , E_s , f_{sh} , ε_{sh} dan E_{sh} , dengan 40 bh data. f_y diperoleh pada $\varepsilon_s = 0,35\%$

Ilustrasi peralatan yang akan digunakan untuk pengujian baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Posisi alat UTM pada benda uji

Dalam SNI 07-2052-2002 terdapat toleransi diameter sebagaimana tercantum pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.2 Toleransi Diameter Baja Tulangan beton polos dan sirip

No	Diameter (d) (mm)	Toleransi (mm)	Penyimpangan kebundaran (%)
1	6	$\pm 0,3$	Maksimum 70 dari batas toleransi
2	$8 \leq d \leq 14$	$\pm 0,4$	
3	$16 \leq d \leq 25$	$\pm 0,5$	
4	$28 \leq d \leq 34$	$\pm 0,6$	
5	$d > 346$	$\pm 0,8$	
CATATAN			
1. Penyimpangan kebundaran adalah perbedaan antara diameter maksimum dan minimum dari hari pengukuran pada penampang yang sama dari baja tulangan beton			
2. Untuk baja tulangan beton sirip, d = diameter dalam			

Sumber : SNI 07-2052-2002

3.3.3. Data Bahan yang akan digunakan

Data bahan yang akan digunakan untuk thesis ini adalah sebagai berikut :

1. Baja Tulangan Mutu Tinggi dengan kuat leleh 500 MPa, baja hasil produksi Indonesia . Mutu baja diatas 500 MPa dan diameter tulangan D-13 dan D-16. Dilakukan uji tarik baja dengan sample sebanyak 40 benda uji untuk mendapatkan ke-6 nilai karakteristik baja sebagai data diagram tegangan-regangan baja aktual.
2. Material penampang balok beton yang akan diteliti adalah menggunakan beton dengan f_c 25 Mpa, f_c 30 Mpa dan f_c 35 Mpa, dan menggunakan dimensi penampang balok 250 x 550 mm data yang didapat dari penelitian sebelumnya.
3. Hanya meninjau elemen struktur balok dengan bentuk persegi saja.
4. Mencari nilai kurvatur daktility dan overstrength faktor dari penampang balok bertulang berbentuk persegi panjang

3.3.4. Uji statistik hasil uji tarik baja

Data hasil uji tarik baja berupa nilai 6 parameter yaitu f_y , ε_y , E_s , f_{sh} , ε_{sh} dan E_{sh} yang masing-masing memiliki 40 data. Masing-masing parameter dipilih bentuk distribusinya dan diuji menggunakan metode Kolmogorof-Smirnov untuk melihat apakah bentuk distribusi yang dipilih sesuai atau tidak.

Sifat Mekanis Baja Tulangan sebagaimana tercantum dalam tabel dibawah ini :

Tabel 3.3 Sifat Mekanis Baja Tulangan

Kelas baja tulangan	Nomor batang uji	Uji tarik			Uji lengkung	
		Batas ulur kgf/mm^2 (N/mm^2)	Kuat tarik kgf/mm^2 (N/mm^2)	Regang min. %	Sudut lengkung	Diameter pelengkung (mm)
BjTP 24	No. 2	minimum 24	minimum 39	20	180°	3 x d
	No. 3	(235)	(383)	24		
BjTP 30	No. 2	minimum 24	minimum 45	18	180°	$d \leq 16 = 3 \times d$
	No. 3	(294)	(441)	20		$d > 16 = 4 \times d$
BjTS 30	No. 2	minimum 24	minimum 45	16	180°	$d \leq 16 = 3 \times d$
	No. 3	(294)	(441)	18		$d > 16 = 4 \times d$
BjTS 35	No. 2	minimum 24	minimum 50	18	180°	$d \leq 16 = 3 \times d$ $16 > d \geq 40 = 4 \times d$
	No. 3	(343)	(491)	20		$d \geq 50 = 5 \times d$
BjTS 40	No. 2	minimum 24	minimum 57	16	180°	5 x d
	No. 3	(392)	(559)	18		
Bj TS 50	No. 2	minimum 24	minimum 63	12	90°	$d \leq 25 = 5 \times d$
	No. 3	(491)	(618)	14		$d > 25 = 6 \times d$

Sumber : SNI 07-2052-2002

3.3.5. Membuat program hitung

Studi analisa numerik dari elemen balok beton bertulang untuk mencari nilai kurvatur daktiliti dan overstrength faktor, dilakukan dengan bantuan program hitung yang dibuat dengan macros excel .

3.3.6. Analisa Statistik Kurvatur Daktiliti Dan Overstrength Faktor

Hasil akhir dari analisa numerik, berupa nilai kurvatur daktiliti dan overstrength faktor model uji. Masing-masing model uji memiliki data kurvatur daktiliti dan overstrength faktor yang dipilih bentuk distribusinya dan diuji menggunakan metode Kolmogorof-Smirnov untuk melihat kesesuaian bentuk distribusi yang dipilih.

3.4 Analisa Statistik

Setelah data terkumpul, kemudian dilakukan analisis dengan data yang telah diperoleh. Data kualitatif akan dianalisis dengan menggunakan pendekatan logika. Hal ini bertujuan untuk memperoleh, apakah hipotesis yang diajukan diterima atau ditolak dengan prosedur.

3.4.1. Mean (μ)

Penghitungan rata-rata dilakukan dengan menjumlahkan seluruh nilai data suatu kelompok sampel, kemudian dibagi dengan jumlah sampel tersebut. Jadi jika suatu kelompok sampel acak dengan jumlah sampel n , maka bisa dihitung rata-rata dari sampel tersebut dengan rumus sebagai berikut.

Mean dari sebuah populasi dapat ditentukan dengan perumusan:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana $x_1 + x_2 + \dots + x_n$ adalah nilai sample dan n adalah jumlah sample

3.4.2. Standar Deviasi (σ)

Dasar penghitungan varian dan standar deviasi adalah keinginan untuk mengetahui keragaman suatu kelompok data. Salah satu cara untuk mengetahui

keragaman suatu kelompok data adalah dengan mengurangi setiap nilai data dengan rata-rata kelompok data tersebut, kemudian semua hasilnya dijumlahkan. Standar Deviasi dari sebuah populasi dapat ditentukan dengan perumusan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum [(x_j - x_m)^2]}{n - 1}} \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana x_j adalah nilai sample, x_m adalah mean dari sample dan n adalah jumlah sample.

3.4.3. Distribusi Normal

Distribusi Normal adalah model distribusi kontinyu yang paling penting dalam teori probabilitas. Distribusi Normal diterapkan dalam berbagai permasalahan. Distribusi normal memiliki kurva berbentuk lonceng yang simetris. Dua parameter yang menentukan distribusi normal adalah rata-rata / ekspektasi (μ) dan standar deviasi (σ).

Fungsi kerapatan probabilitas dari distribusi normal diberikan dalam rumus berikut:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana μ dan σ adalah parameter distribusi, yaitu mean dan standar deviasi.

3.4.4. Uji Kolmogorov-Smirnov (KS)

Langkah awal untuk menganalisa data adalah menetapkan model distribusi yang sesuai. Pemilihan model distribusi biasanya dilakukan dengan mengasumsikan distribusi sample yang didapat sebagai distribusi normal. Kemudian dilakukan uji kecocokan model distribusi yang dipilih. Salah satu uji distribusi normal adalah uji Kolmogorov-Smirnov (KS). Uji KS memiliki prosedur analisa yang sederhana namun hasilnya masih tetap akurat meskipun dipakai untuk jumlah sample yang kecil. Prosedur dasarnya adalah membandingkan nilai Dmax (absolut) terhadap Dkritis. Nilai Dmax diambil dari nilai absolute terbesar dari dua perumusan berikut ini:

$$D_{\max} = |Fn - Fo| \text{ atau}$$

$$D_{\max} = |F_o - F_{n-1}|$$

dimana

Fo adalah nilai frekuensi komulatif yang didapat dengan menggunakan salah satu teori distribusi (teori distribusi normal)

$$F_o(x_i) = P_o(x - x_i) = CDF(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right]^2} dx \dots\dots\dots 3.4$$

CDF (Cumulative Distribution Function)

Fn adalah nilai frekuensi komulatif dari sample dan n = jumlah sample dan j = nomor sample

$$Fn_j = \left(\frac{j}{n}\right) \dots\dots\dots 3.5$$

$$Fn_{j-1} = \left(\frac{j-1}{n}\right) \dots\dots\dots 3.6$$

3.5 Model Diagram Tegangan Regangan Baja

Ada banyak variasi idealisasi kurva f_s - ε_s monotonik untuk baja tulangan tergantung pada tujuan penggunaannya.

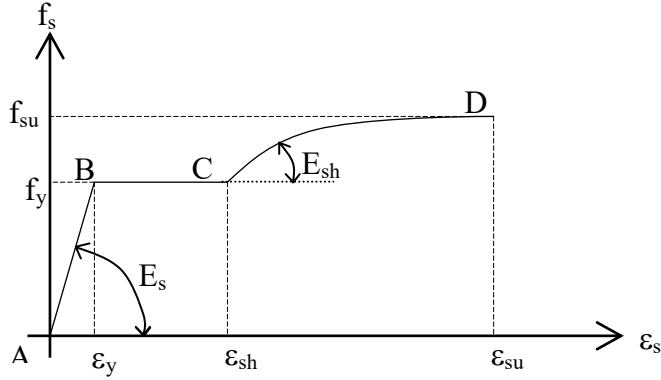
Pada disain tahan gempa, sangat perlu untuk mengevaluasi nilai f_s pada ε_s setelah melampaui titik leleh, untuk mendapatkan perkiraan kekuatan lentur member yang lebih akurat (M_{prob}) pada deformasi besar yang mungkin terjadi selama gempa rencana (V_e)

Penelitian terdahulu sudah memiliki kurva hubungan f_s - ε_s baja tulangan dengan idealisasi yang jelas dari pembebanan monotonik. Salah satunya dari Mander dan kawan-kawan yang mengusulkan sebuah formulasi alternatif yang telah dikembangkan dan dapat dipakai pada studi ini. Model tegangan – regangan ini digunakan untuk analisa momen-kurvatur dari penampang beton bertulang dalam menentukan nilai μ_ϕ .

3.5.1. Diagram Tegangan Regangan Baja Oleh Mander

Model f_s - ε_s yang diusulkan oleh Mander dan kawan-kawan memiliki enam parameter dasar yaitu $f_y, f_{su}, \varepsilon_{sh}, \varepsilon_{su}, E_s$ dan E_{sh} . Ke-enam parameter

tersebut digunakan untuk membuat bentuk kurva $f_s - \varepsilon_s$ monotonik seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Kurva $f_s - \varepsilon_s$ usulan Mander dan kawan-kawan

a. Daerah elastik ($0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y$)

$$f_s = E_t \varepsilon_s \quad \dots\dots\dots 3.7$$

$$E_t = E_s \quad \dots\dots\dots 3.8$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s \quad \dots\dots\dots 3.9$$

E_t = tangen modulus dan E_s = modulus elastis (Young's modulus)

b. Yield Plateau ($\varepsilon_y < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}$)

$$\begin{aligned} f_s &= f_y \\ E_t &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 3.10$$

c. Daerah Strain Hardening ($\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$)

Daerah Strain Hardening dimulai ketika f_s naik melebihi f_y (pada ε_{sh}) dan dilanjutkan sampai regangan ultimit (ε_{su}). Gambaran dari daerah strain hardening dalam bentuk kurva dengan kordinat tegangan ultimit (f_{su}) dan regangan ultimit (ε_{su}) adalah :

$$\left[\frac{f_{su} - f_s}{f_{su} - f_y} \right] = \left[\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right]^P \quad \dots\dots\dots 3.11$$

$$f_s = f_{su} + (f_y - f_{su}) \left| \frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right|^P \quad \dots\dots\dots 3.12$$

P adalah kekuatan strain hardening, nilainya dapat ditentukan oleh penurunan persamaan dibawah dengan memberikan tangen modulus :

$$E_t = \frac{df_s}{d\varepsilon_s} = P \left[\frac{f_{su} - f_y}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right] \left[\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right]^{P-1} \dots\dots\dots 3.13$$

Setelah modulus pada strain hardening (E_{sh}) didapat ketika $\varepsilon_s = \varepsilon_{sh}$, karena itu :

$$E_t = E_{sh} = P \left[\frac{f_{su} - f_y}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right] \text{ atau } \dots\dots\dots 3.14$$

$$P = E_{sh} \left[\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}}{f_{su} - f_y} \right] \dots\dots\dots 3.15$$

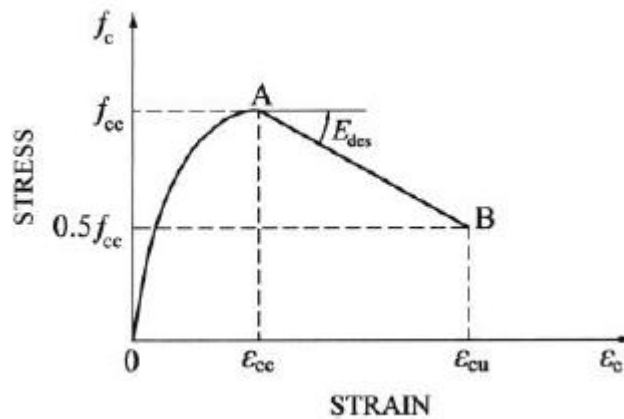
3.6 Model Diagram Tegangan-Regangan Beton

Ada banyak model diagram tegangan-regangan untuk beton terkekang dan tidak terkekang yang diusulkan berdasarkan hasil penelitian. Pada tesis ini digunakan diagram tegangan-regangan beton oleh Kusuma dan Tavio. Diagram tegangan regangan beton oleh Kusuma dan Tavio memiliki kelebihan dapat memperhitungkan efek-efek dari parameter-parameter beton bertulang dengan lebih mendekati kondisi nyata, diantaranya diameter sengkang, jarak sengkang, tegangan leleh sengkang, konfigurasi tulangan sengkang, jumlah tulangan longitudinal dan konfigurasi tulangan longitudinal, hal ini dapat diketahui dari hasil penelitian terdahulu, Tavio T, Wimbadi, Kusuma Negara, Tirtajaya R, *Efek Dari Parameter Pengekangan Pada Kurva Tegangan Regangan Beton*, September 2009. Selain itu, dari hasil penelitian Imam Wimbadi, Tavio, Windunoto, *Analisa Pengaruh Pengekangan Pada Balok Bertulangan Rangkap Dengan Metode Unified Theori*, 2011, juga didapat kesimpulan bahwa metode pengekangan Kappos Konstantinidis menunjukkan peningkatan nilai momen kapasitas balok terkekang yang paling besar, dibandingkan dengan 5 metode pengekangan lainnya

3.6.1. Diagram Tegangan-Regangan Beton Oleh Kusuma-Tavio

Setelah menentukan rumus diagram tegangan regangan baja maka langkah berikutnya adalah menentukan rumus untuk diagram tegangan regangan beton. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2 sebelumnya, Ada banyak model diagram tegangan-regangan untuk beton terkekang dan tidak terkekang yang diusulkan berdasarkan hasil penelitian. Pada tesis ini digunakan diagram tegangan-regangan beton oleh Kusuma dan Tavio. Diagram tegangan regangan beton oleh Kusuma dan Tavio memiliki kelebihan dapat memperhitungkan efek-efek dari parameter-parameter beton bertulang dengan lebih mendekati kondisi nyata.

Model diagram tegangan-regangan beton Kusuma-Tavio untuk beton terkekang (confined concrete) dan tidak terkekang (unconfined concrete) seperti terlihat pada gambar 3.4 adalah:



Gambar 3.4. Kurva $f_c - \varepsilon_c$ Kusuma-Tavio

1. Untuk kurva yang naik, $0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc}$

$$f_c = f_{cc} \frac{K_b \varepsilon_b - \varepsilon_b^2}{1 + (K_b - 2)\varepsilon_b} \dots\dots\dots$$

3.16

$$\text{Dimana : } K_b = \frac{E_c \varepsilon_{cc}}{f_{cc}}, \varepsilon_b = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}$$

2. Untuk kurva yang menurun, $\varepsilon_c > \varepsilon_{cc}$

$$f_c = f'_{cc} - E_{des}(\varepsilon_c - \varepsilon_{cc}) \dots\dots\dots 3.17$$

Dimana :

$$E_c = 0,043w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} (Mpa) \dots\dots\dots 3.18$$

$$f_{le} = 0,5k_e \rho_s f_{yh} \dots\dots\dots 3.19$$

$$f_{cc} = f'_c \left[1 + 3,7 \frac{f_{le}}{f'_c} \right] \dots\dots\dots 3.20$$

$$E_{des} = \frac{12,2}{\rho_s f_{yh} / (f'_c)^2} \dots\dots\dots 3.21$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cc} + \frac{f_{cc}}{2E_{des}} \dots\dots\dots 3.22$$

$$\rho_s = \frac{A_{sh} S_h}{b_c d_c S_h} \dots\dots\dots 3.23$$

$$k_e = \left[1 - \frac{\sum (b_i)^2}{6b_c d_c} \right] \left[1 - \frac{S_h}{b_c} \right] \dots\dots\dots 3.24$$

$$\varepsilon_{cc} = 0,0029 + 0,055 \frac{f_{le}}{f'_c} \dots\dots\dots 3.25$$

k_e = faktor efektifitas dari kekangan

w_c = satuan berat beton kg/m³

E_{des} = faktor reduksi kekuatan

$b_c d_c$ = luas beton inti yang terkekang

b_i = jarak antar tulangan longitudinal yang dihitung dari pusat ke pusat tulangan

S_h = jarak sengkang

f'_c = Kuat tekan beton tidak terkekang (MPa)

f'_{cc} = Kuat tekan beton terkekang (f'_{cc} = f'_c untuk beton tidak terkekang)

E_c = modulus elastisitas beton MPa

ε_{cc} = Regangan pada f'_{cc} (terkekang)

ε_{co} = Regangan pada f'_c (tidak terkekang)

3.7 Kurvatur (ϕ)

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, Kurvatur pada elemen didefinisikan sebagai rotasi per unit panjang. Nilai kurvatur bervariasi disepanjang elemen, meskipun berada pada daerah momen yang konstan, karena disepanjang daerah tarik beton memiliki nilai regangan dan tinggi garis netral yang bervariasi. Elemen kecil yang mengalami retak, gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen tersebut dan diagram regangannya dapat digambarkan pada Gambar 2.4 pada bab 2 sebelumnya.

R = radius kurvatur, kd = tinggi garis netral, ϵ_c = regangan beton pada regangan ekstrem penampang, ϵ_s = regangan tarik baja (Park dan Paulay 1975). Semua nilai ini bervariasi sepanjang member. Rotasi dari elemen dx tersebut adalah :

$$\frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_s dx}{kd} = \frac{\epsilon_s dx}{d(1-k)} \dots\dots\dots 3.26$$

$dx = 1$ maka:

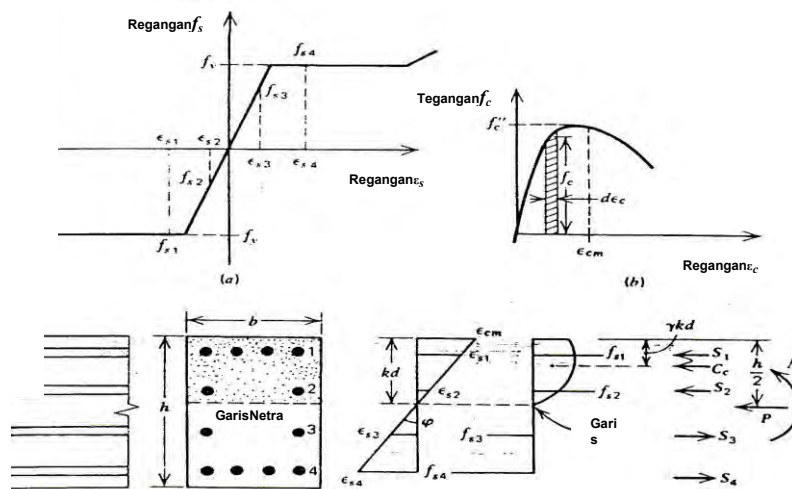
$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_s}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} \dots\dots\dots 3.27$$

$\frac{1}{R}$ adalah kurvatur pada elemen dengan simbol ϕ , jadi :

$$\phi = \frac{\epsilon_s}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d} \dots\dots\dots 3.28$$

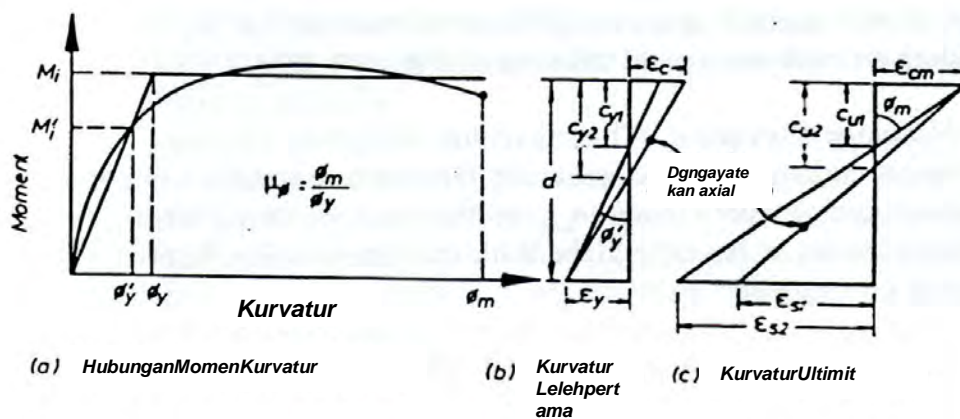
3.8 Analisa Momen -Kurvatur ($M - \phi$)

Untuk menghitung momen dan kurvatur, digunakan analisa Momen-Kurvatur. Analisa momen kurvatur pada penampang-penampang memungkinkan kapasitas lentur bagian-bagian konstruksi melebihi suatu batas kurvatur yang diperkirakan, sehingga memperbolehkan perubahan kapasitas momen dengan rotasi sendi elastis yang ditaksir.



Gambar 3.5 Teori Analisa Momen - Kurvatur

Gambar 3.5 memperlihatkan penampang beton bertulang dan diagram tegangan-regangan baja dan beton yang digunakan untuk menentukan nilai kurvatur dan momen kapasitas lentur maksimum (M_{max}).



Gambar 3.6 Definisi dari μ_ϕ (KurvaturDaktiliti)

Prosedur perhitungan dengan cara menaikkan nilai ε_{cm} perlahan dengan increment yang kecil.

Untuk tiap nilai ε_{cm} akan didapat garis netral (kd), kurvatur (ϕ) dan momen (M) dengan cara memperhitungkan keseimbangan gaya-gaya dalam dari beton dan baja (Park dan Paulay 1975). Semua data momen dan kurvatur ini akhirnya digambar dalam bentuk grafik hubungan momen-kurvatur, seperti gambar 3.6a.

3.8.1. Kurvatur Daktiliti Priestly

Nilai maximum curvature ductility adalah (Priestly 1990):

$$\mu_{\phi} = \phi_m / \phi_y \quad \dots\dots\dots 3.29$$

Dengan gambar 3.8.b didapat formula kurvatur pada leleh pertama (ϕ_y') adalah (Priestly 1990):

$$\phi_y' = \varepsilon_y / (d - c_y) \quad \dots\dots\dots 3.30$$

dimana $\varepsilon_y = f_y / E_s \quad \dots\dots\dots 3.31$

c_y = garis netral

d = tinggi penampang

Kurvatur leleh (ϕ_y) adalah (gambar 3.8.a):

$$\phi_y = \frac{M_i}{M_i'} \phi_y' \quad \dots\dots\dots 3.32$$

ϕ_y' = Kurvatur yang sesuai dengan M_y

M_i = Momen yield aktual

$M_i' = M_y$ = Momen yield ideal dengan asumsi-asumsi :

1. Model tegangan regangan baja tulangan yang digunakan adalah bilinear
2. Regangan tekan beton pada serat terluar adalah 0,003
3. Diagram tegangan tekan beton ekivalen dengan bentuk persegi (block stress) yang tegangan rata-ratanya sebesar $0,85 f_c'$ dan tinggi block stress = a

Kurvatur maksimum tercapai saat regangan tekan beton mencapai maksimum ε_{cm} pada serat ekstrem. Dengan referensi Gambar 3.8.c Kurvatur maksimum adalah:

$$\phi_m = \varepsilon_{cm} / c_u \quad \dots\dots\dots 3.33$$

c_u adalah tinggi garis netral pada kurvatur ultimit.

3.9 Overstrength Factor (λ_o)

Sangat penting untuk menentukan nilai maksimal yang mungkin dicapai pada kuat lebih lentur penampang (flexural overstrength) dalam disain kapasitas penampang. Overstrength dihasilkan dari variasi nilai f_s aktual baja tulangan yang melebihi f_y nominal saat baja tulangan pada daktilitas tinggi mengalami strain hardening (Priestly 1990).

3.9.1. Nilai overstrength factor menurut SNI 2847 (λ_o)

SNI 03-2847-2013 ps 23.2.5.1 memberikan nilai Overstrength factor $\phi = 1,25$ untuk $f_y = 300$ sampai $f_y = 400$ Mpa

3.9.2. Nilai overstrength factor menurut Park Paulay (λ_o)

Nilai Overstrength factor menurut Park dan Paulay adalah

$$\lambda_o = \frac{M_{max}}{M_u} \quad \dots\dots\dots 3.34$$

Dimana :

M_{max} = Momen lentur maksimum aktual atau kapasitas lentur maksimum aktual

M_u = Kapasitas momen ultimit ideal dengan asumsi-asumsi:

1. Model tegangan regangan baja tulangan yang digunakan adalah bilinear
 2. Regangan tekan beton pada serat terluar adalah 0,003
 3. Diagram tegangan tekan beton ekivalen dengan bentuk persegi (block stress) yang tegangan rata-ratanya sebesar $0,85 f_c'$ dan tinggi block stress = a
- M_u dihitung seperti yang dijelaskan diatas.

M_{\max} adalah Momen max yang didapat dari analisa momen kurvatur dengan menggunakan model tegangan regangan baja tulangan dari Mander (menggunakan 6 parameter: f_y , f_{su} , E_s , E_{sh} , ε_{sh} dan ε_{su}) dan model tegangan regangan beton Kappos-konstantinidis.

Untuk menghitung nilai Overstrength factor dari suatu penampang, dibuat suatu program komputer dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penampang beton dibagi menjadi beberapa pias yang sejajar terhadap sumbu garis netral penampang.
2. Program komputer merandom nilai-nilai parameter dari kurva tegangan-regangan baja aktual, yaitu nilai f_y , f_{su} , E_s , E_{sh} , ε_{sh} dan ε_{su} . Untuk merandom nilai-nilai tersebut, digunakan Teknik simulasi Monte Carlo.
3. Prosedur perhitungan dimulai dengan cara menaikkan nilai ε_{cm} perlahan dengan increment yang kecil. Untuk tiap nilai ε_{cm} akan didapat garis netral (kd), kurvatur (ϕ) dan momen (M) dengan cara memperhitungkan keseimbangan gaya-gaya dalam dari beton dan baja.
4. Menghitung $\phi_y = \frac{M_R}{M_y} \phi_y'$ lalu menghitung $\mu_\phi = \phi_m / \phi_y$ dan $\lambda_o = \frac{M_{\max}}{M_u}$
5. Perhitungan berakhir bila salah satu batasan dibawah ini tercapai:
 - Momen yang diperoleh pada tambahan regangan terakhir telah mencapai $0,8 M_u$.
 - Daktilitas kurvatur $\mu_\phi = \phi_m / \phi_y$ telah mencapai nilai 20
 - Regangan maximum baja tulangan longitudinal telah mencapai regangan ultimate $\varepsilon_{ca} > \varepsilon_{cc50}$ atau $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{su}$

3.10 Tahap Penulisan Laporan

Target penyajian data – data yang diinginkan dari hasil penelitian ini antara lain adalah:

- Nilai karakteristik dari baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa.
- Kurva diagram tegangan-regangan baja dengan mutu diatas 500 MPa.

- Nilai kurvatur dan momen kapasitas dari penampang balok beton bertulang pada saat first yield dan ultimit dengan baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa
- Nilai overstrength faktor balok lentur dan nilai curvature ductility untuk balok beton bertulang yang menggunakan baja tulangan dengan mutu diatas 500 MPa

3.11 Rangkuman Alur Penelitian

Dari hasil penjelasan pada sub bab sebelumnya maka alur dari penelitian ini dapat dirangkum sebagai berikut :

1. Uji tarik baja tulangan hasil produksi Indonesia.
2. Parameter yang didapatkan dari uji tarik ini adalah (f_y , f_{su} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , E_s dan E_{sh}).
3. Menghitung mean dari tiap parameter (f_y , f_{su} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , E_s dan E_{sh}) yang didapatkan dari hasil uji tarik.
4. Menentukan standar deviasi parameter (f_y , f_{su} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , E_s dan E_{sh}).
5. Melakukan pengujian apakah parameter (f_y , f_{su} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , E_s dan E_{sh}) berdistribusi normal
6. Uji kolmogorov-smirnov untuk mengetahui kecocokan data terhadap model distribusi normal yang dipilih. Uji kolmogorov-smirnov memiliki prosedur analisa sederhana namun hasilnya masih tetap akurat meskipun dipakai untuk jumlah sample yang kecil. Prosedur dasarnya adalah membandingkan nilai D_{max} (absolut) terhadap D_{kritis} . Bila $D_{max} < D_{kritis}$ maka model distribusi yang dipilih dianggap sesuai.
7. Membuat tegangan regangan baja dari parameter (f_y , f_{su} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , E_s dan E_{sh}) hasil analisa statistik (aktual) maupun dengan perumusan model diagram tegangan regangan baja oleh mander.
8. Membuat model benda uji. Model benda uji dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang berbentuk persegi dengan variasi material maupun *section properties* yang dituliskan dalam Bab 4.

9. Masing-masing model uji dianalisa momen kurvatur menggunakan diagram tegangan regangan beton oleh Kappos Konstantinidis dan diagram tegangan regangan baja oleh mander.
10. Dilakukan 100 kali random nilai terhadap masing-masing model uji yang akan menghasilkan 100 grafik hubungan momen kurvatur. Semakin banyak random maka semakin mendekati kondisi sebenarnya.
11. Random sample adalah sample yang dipilih secara random, yang mewakili kemungkinan adanya sample tersebut secara nyata. Pada tesis ini, untuk merandom sample digunakan teknik simulasi monte carlo. Simulasi Monte Carlo bertugas untuk menggenerasikan nilai random (u_1 dan u_2) dari nilai 0 – 1. Nilai random ini dipakai untuk merandom nilai-nilai dari variabel (x_1 atau x_2), sesuai dengan model distribusi yang digunakan.
12. Perhitungan nilai random (u_1 dan u_2) ini bisa juga didapat dengan menggunakan fungsi matematik, RAND(), didalam program excel.
13. Menentukan range untuk random variabel. Range merupakan rentang antara nilai terendah dan nilai tertinggi variabel dari suatu sample data. Range dari analisa momen kurvatur diambil berdasarkan pada 5% lower tail dan 95% upper tail dari probabilitas normal. Nilai suatu variabel yang telah dirandom sebaiknya berada pada range ini.
14. Analisa momen kurvatur. Proses analisa dimulai dengan mencari nilai random pertama dari variabel f_y dan f_c' . Dengan nilai variabel dari random pertama ini, proses analisa momen kurvatur dimulai dengan menaikkan nilai regangan tekan beton pada serat terluar dengan increment kecil dan daerah tekan beton dibagi menjadi beberapa pias.
15. Menghitung nilai kurvatur daktiliti dan overstrength factor.
16. Mengulang langkah 14 s/d langkah 15 dengan variasi pengaruh rasio tulangan dan mutu beton.

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Material Baja

4.1.1 Uji Tarik

Uji tarik Penentuan diagram tegangan-regangan baja diawali dengan penelitian di Laboratorium Uji Tarik. Benda uji yang digunakan adalah baja tulangan dengan mutu 500 MPa dengan diameter D13 dan diameter D16 mm.

Sampel yang diambil sebanyak 40 buah dengan panjang 60 cm. Dilakukan uji tarik sesuai JIS Z 2201 dan JIS Z 2241 terhadap benda uji untuk mendapatkan parameter tegangan dan regangan pada titik leleh dan ultimit ($f_y, f_{su}, \varepsilon_u, \varepsilon_{su}, Es, Esh$). Dimensi ke 40 sampel tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2

Tabel 4.1 Dimensi benda uji D13

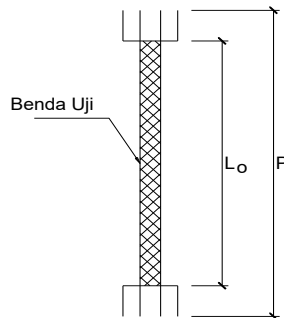
No	P mm	Lo mm	Deff mm	W gr	As mm ²	L1 mm	Δ L mm	Elongation %
1	606.000	101.627	12.703	602.900	126.745	121.200	19.573	19.259
2	607.000	102.649	12.831	616.100	129.306	124.100	21.451	20.897
3	602.000	102.596	12.825	610.400	129.174	124.400	21.804	21.252
4	606.000	102.517	12.815	613.500	128.973	124.500	21.983	21.444
5	606.000	101.669	12.709	603.400	126.850	124.300	22.631	22.259
6	603.000	102.604	12.825	611.500	129.192	125.500	22.896	22.315
7	603.000	101.626	12.703	599.900	126.741	122.700	21.074	20.737
8	604.000	101.719	12.715	602.000	126.974	122.900	21.181	20.823
9	603.000	101.592	12.699	599.500	126.657	121.900	20.308	19.990
10	603.000	101.702	12.713	600.800	126.931	123.000	21.298	20.942
11	603.000	101.727	12.716	601.100	126.995	123.000	21.273	20.911
12	605.000	102.568	12.821	613.100	129.102	124.300	21.732	21.188
13	601.000	102.749	12.844	611.200	129.558	125.200	22.451	21.850
14	604.000	101.804	12.725	603.000	127.185	123.500	21.696	21.312
15	604.000	102.502	12.813	611.300	128.936	122.800	20.298	19.803
16	604.000	101.778	12.722	602.700	127.122	122.800	21.022	20.654
17	603.000	101.702	12.713	600.800	126.931	124.100	22.398	22.023
18	604.000	102.954	12.869	616.700	130.075	122.800	19.846	19.277
19	604.000	102.628	12.828	612.800	129.252	125.300	22.672	22.092
20	603.000	102.537	12.817	610.700	129.023	123.200	20.663	20.152
21	605.000	102.643	12.830	614.000	129.291	124.200	21.557	21.002
22	605.000	101.652	12.707	602.200	126.807	123.800	22.148	21.788
23	603.000	102.562	12.820	611.000	129.086	124.500	21.938	21.390
24	611.000	101.210	12.651	602.900	125.707	122.400	21.190	20.936
25	605.000	101.711	12.714	602.900	126.954	123.400	21.689	21.324
26	603.000	101.736	12.717	601.200	127.016	124.100	22.364	21.982
27	604.000	102.561	12.820	612.000	129.084	123.700	21.139	20.612
28	606.000	102.400	12.800	612.100	128.679	123.600	21.200	20.704
29	605.000	101.610	12.701	601.700	126.701	123.400	21.790	21.445
30	607.000	101.703	12.713	604.800	126.935	122.800	21.097	20.743
31	606.000	101.585	12.698	602.400	126.639	123.000	21.415	21.081
32	603.000	102.495	12.812	610.200	128.917	125.400	22.905	22.348
33	607.000	101.501	12.688	602.400	126.431	122.800	21.299	20.984
34	603.000	101.456	12.682	597.900	126.319	122.400	20.944	20.643
35	603.000	102.595	12.824	611.400	129.171	122.600	20.005	19.499
36	604.000	101.601	12.700	600.600	126.679	123.600	21.999	21.652
37	602.000	101.854	12.732	601.600	127.312	126.100	24.246	23.804
38	606.000	101.577	12.697	602.300	126.618	124.700	23.123	22.765
39	605.000	101.686	12.711	602.600	126.891	122.500	20.814	20.469
40	605.000	101.753	12.719	603.400	127.059	122.900	21.147	20.782

Tabel 4.2 Dimensi benda uji D16

No	P mm	Lo mm	Deff mm	W gr	As mm ²	L1 mm	Δ L mm	Elongation %
1	605.000	125.343	15.668	915.600	192.800	151.000	25.657	20.470
2	609.000	125.590	15.699	925.300	193.563	152.700	27.110	21.586
3	606.000	125.417	15.677	918.200	193.029	151.200	25.783	20.558
4	605.000	125.370	15.671	916.000	192.884	151.400	26.030	20.763
5	607.000	125.470	15.684	920.500	193.193	151.400	25.930	20.666
6	608.000	125.564	15.696	923.400	193.483	150.900	25.336	20.177
7	606.000	125.669	15.709	921.900	193.806	151.300	25.631	20.395
8	604.000	125.576	15.697	917.500	193.520	154.800	29.224	23.272
9	604.000	125.679	15.710	919.000	193.836	152.000	26.321	20.943
10	606.000	125.622	15.703	921.200	193.659	155.200	29.578	23.546
11	609.000	125.502	15.688	924.000	193.291	154.300	28.798	22.946
12	607.000	125.457	15.682	920.300	193.151	153.800	28.343	22.592
13	605.000	125.616	15.702	919.600	193.642	152.600	26.984	21.481
14	608.000	125.381	15.673	920.700	192.917	152.900	27.519	21.949
15	604.000	125.713	15.714	919.500	193.942	152.800	27.087	21.547
16	607.000	125.423	15.678	919.800	193.046	152.400	26.977	21.509
17	607.000	125.498	15.687	920.900	193.277	152.200	26.702	21.277
18	606.000	125.697	15.712	922.300	193.890	152.000	26.303	20.926
19	607.000	125.491	15.686	920.800	193.256	153.100	27.609	22.001
20	606.000	125.615	15.702	921.100	193.638	154.300	28.685	22.836
21	606.000	125.369	15.671	917.500	192.881	151.400	26.031	20.764
22	606.000	125.389	15.674	917.800	192.944	150.900	25.511	20.345
23	607.000	125.586	15.698	922.200	193.550	154.600	29.014	23.103
24	606.000	125.430	15.679	918.400	193.071	152.500	27.070	21.581
25	607.000	125.464	15.683	920.400	193.172	154.200	28.736	22.904
26	607.000	125.525	15.691	921.300	193.361	152.000	26.475	21.092
27	607.000	125.824	15.728	925.700	194.285	152.300	26.476	21.042
28	607.000	125.498	15.687	920.900	193.277	152.700	27.202	21.676
29	609.000	125.550	15.694	924.700	193.437	152.000	26.450	21.068
30	606.000	125.669	15.709	921.900	193.806	153.000	27.331	21.748
31	606.000	125.437	15.680	918.500	193.092	151.000	25.563	20.379
32	607.000	125.450	15.681	920.200	193.130	153.400	27.950	22.280
33	605.000	125.609	15.701	919.500	193.621	152.800	27.191	21.647
34	606.000	125.355	15.669	917.300	192.839	152.600	27.245	21.734
35	605.000	125.575	15.697	919.000	193.516	152.800	27.225	21.680
36	604.000	125.570	15.696	917.400	193.499	153.300	27.730	22.084
37	607.000	125.477	15.685	920.600	193.214	151.400	25.923	20.659
38	608.000	125.592	15.699	923.800	193.567	151.500	25.908	20.629
39	607.000	125.429	15.679	919.900	193.067	154.000	28.571	22.778
40	608.000	125.353	15.669	920.300	192.834	154.500	29.147	23.251

Catatan:

Uji tarik dilakukan terhadap 40 benda uji baja dengan 500 Mpa



Gambar 4.1 Daerah uji tarik benda uji

P = Panjang total benda uji

L_0 = Panjang awal daerah tarik

W = Berat total benda uji

Φ_e = Diameter efektif dari baja ulir

$$= 12,74\sqrt{B} \quad \text{dimana } B = W / P$$

As = Luas tulangan

$$= \frac{1}{4}\pi(De)^2$$

L_1 = Panjang daerah tarik setelah mengalami penarikan

$$\Delta L = L_1 - L_0$$

$$\text{Elongation} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Tabel 4.1 memperlihatkan baja mengalami rata-rata perpanjangan sebesar 18% pada saat dilakukan uji tarik hingga baja putus.

Pada saat dilakukan uji tarik, setiap titik kenaikan nilai regangan dan regangan dari awal baja ditarik hingga baja putus, dilakukan pencatatan. Berdasarkan nilaitegangan-regangan tersebut, dicari nilai-nilai tegangan-regangan pada titik leleh, strain hardening dan ultimit. Hasil pencatatan nilai-nilai tegangan dan regangan dari hasil uji tarik tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.3 Hasil uji tarik D13

No	ϵ_y mm/mm	f_y Mpa	ϵ_{sh} mm/mm	f_{sh} Mpa	$\epsilon_{sh,ult}$ mm/mm	$f_{sh,ult}$ Mpa	ϵ_{ult} mm/mm	f_{ult} Mpa	E_s Mpa	E_{sh} Mpa
1	0,002	490,516	0,002	490,516	0,159	746,142	0,193	674,471	205382,966	3231,460
2	0,003	490,603	0,003	490,603	0,166	721,372	0,209	633,076	191786,748	3695,986
3	0,002	490,516	0,002	490,516	0,158	718,836	0,213	616,209	215803,825	5277,434
4	0,002	490,950	0,002	490,950	0,155	715,292	0,214	600,037	212534,989	4306,363
5	0,002	492,098	0,002	492,098	0,161	723,474	0,223	626,944	201550,043	3911,816
6	0,002	490,742	0,002	490,742	0,158	716,056	0,223	621,368	221792,891	4166,919
7	0,002	490,759	0,002	490,759	0,174	744,926	0,207	674,471	207410,291	3053,240
8	0,002	483,961	0,002	483,961	0,165	723,230	0,208	630,002	211608,693	3280,835
9	0,002	494,219	0,002	494,219	0,156	749,078	0,200	682,044	228050,576	4065,357
10	0,002	486,013	0,002	486,013	0,164	727,816	0,209	637,402	218804,715	3127,306
11	0,002	481,961	0,002	481,961	0,161	723,595	0,209	644,159	203639,599	2795,521
12	0,002	495,158	0,002	495,158	0,157	718,697	0,212	612,006	215001,331	2741,990
13	0,002	491,350	0,002	491,350	0,157	718,002	0,219	615,323	218475,473	2980,123
14	0,002	482,796	0,002	482,796	0,161	725,958	0,213	649,492	224571,734	3292,771
15	0,002	490,481	0,002	490,481	0,162	720,590	0,198	627,813	241923,627	3589,023
16	0,002	482,779	0,002	482,779	0,158	725,558	0,207	630,297	234468,604	3365,626
17	0,002	491,455	0,002	491,455	0,162	728,077	0,220	626,093	221490,463	3275,474
18	0,002	493,245	0,002	493,245	0,147	718,210	0,193	613,030	257383,123	3197,077
19	0,002	492,324	0,002	492,324	0,156	714,875	0,221	598,404	215334,494	3500,200
20	0,002	492,133	0,002	492,133	0,156	715,848	0,202	612,735	256441,111	3147,317
21	0,002	490,377	0,002	490,377	0,157	715,848	0,210	617,234	222893,651	3477,878
22	0,002	491,211	0,002	491,211	0,157	724,481	0,218	627,413	215152,645	3440,310
23	0,002	491,055	0,002	491,055	0,157	716,716	0,214	619,075	222882,932	3295,329
24	0,002	490,203	0,002	490,203	0,176	746,941	0,209	682,809	212931,184	3185,006
25	0,002	491,768	0,002	491,768	0,176	730,109	0,213	638,913	210116,225	3150,573
26	0,002	481,492	0,002	481,492	0,174	723,890	0,220	643,481	206405,418	3270,663
27	0,002	492,828	0,002	492,828	0,157	721,580	0,206	618,155	242518,285	3393,926
28	0,002	495,071	0,002	495,071	0,152	720,538	0,207	637,349	232503,314	3265,844
29	0,003	491,855	0,003	491,855	0,141	720,764	0,214	630,019	192002,713	3315,183
30	0,002	496,097	0,002	496,097	0,167	754,098	0,207	702,854	259596,926	3475,990
31	0,002	494,897	0,002	494,897	0,167	750,224	0,211	693,961	223751,866	3239,350
32	0,002	495,262	0,002	495,262	0,155	719,721	0,223	614,663	210243,554	3115,619
33	0,002	497,018	0,002	497,018	0,170	750,728	0,210	676,781	240812,779	3574,474
34	0,002	495,471	0,002	495,471	0,167	748,852	0,206	690,070	233942,057	3396,916
35	0,002	493,576	0,002	493,576	0,155	722,935	0,195	620,865	263324,231	2584,533
36	0,002	494,706	0,002	494,706	0,178	755,748	0,217	707,753	228393,882	3422,339
37	0,002	493,054	0,002	493,054	0,170	723,717	0,238	637,905	198821,200	3204,138
38	0,003	493,141	0,003	493,141	0,164	721,563	0,228	616,591	196674,563	3522,726
39	0,002	496,445	0,002	496,445	0,163	727,816	0,205	635,387	219924,471	3455,260
40	0,002	491,298	0,002	491,298	0,160	721,858	0,208	633,406	219609,698	3421,804

Tabel 4.4 Hasil uji tarik D16

No	ϵ_y mm/mm	f_y Mpa	ϵ_{sh} mm/mm	f_{sh} Mpa	$\epsilon_{sh,ult}$ mm/mm	$f_{sh,ult}$ Mpa	ϵ_{ult} mm/mm	f_{ult} Mpa	E_s Mpa	E_{sh} Mpa
1	0,0025	507,799	0,019	511,629	0,153	644,670	0,205	505,498	200930,532	2794,577
2	0,0027	520,023	0,017	525,321	0,147	654,913	0,216	515,229	196144,949	3356,256
3	0,0028	518,682	0,021	518,108	0,156	652,103	0,206	520,388	184734,672	3697,259
4	0,0027	514,542	0,019	515,631	0,152	648,352	0,208	473,745	187285,518	2908,328
5	0,0026	520,001	0,021	516,583	0,154	655,062	0,207	551,834	199441,687	2829,422
6	0,0028	515,425	0,021	517,719	0,153	652,493	0,202	460,574	183305,826	2639,009
7	0,0026	511,755	0,020	523,372	0,149	648,731	0,204	502,361	198814,332	3373,089
8	0,0029	512,971	0,025	511,847	0,170	647,951	0,233	528,959	176022,181	2522,725
9	0,0024	511,182	0,022	514,588	0,155	644,143	0,209	545,412	209288,029	3019,958
10	0,0027	510,460	0,026	512,638	0,175	645,817	0,235	516,711	192233,476	2792,175
11	0,0027	509,944	0,025	510,964	0,171	651,862	0,229	555,729	190564,673	2619,023
12	0,0027	517,753	0,023	515,253	0,158	654,076	0,226	496,513	190275,412	3091,567
13	0,0026	513,590	0,022	517,799	0,158	649,258	0,215	544,803	198453,881	2567,795
14	0,0028	522,546	0,022	517,134	0,159	656,003	0,219	569,424	184110,899	2486,826
15	0,0026	514,599	0,021	510,081	0,158	644,303	0,215	511,139	200676,542	2809,977
16	0,0026	517,845	0,022	517,122	0,157	652,516	0,215	514,425	202129,681	3121,793
17	0,0027	513,774	0,025	520,413	0,161	651,082	0,213	519,021	193788,195	2845,002
18	0,0025	519,645	0,018	522,168	0,151	653,881	0,209	537,955	209491,211	2722,932
19	0,0027	518,475	0,022	517,696	0,152	655,509	0,220	504,257	189443,485	2592,721
20	0,0027	499,738	0,023	499,680	0,170	636,629	0,228	533,277	183257,385	3384,937
21	0,0027	511,274	0,022	519,026	0,153	652,080	0,208	548,158	186080,204	3018,562
22	0,0027	511,847	0,024	515,803	0,163	645,244	0,203	525,558	189658,031	2652,515
23	0,0027	499,359	0,020	495,885	0,162	633,912	0,231	535,891	185190,392	2855,296
24	0,0026	510,815	0,022	513,510	0,159	647,629	0,216	535,944	194174,347	2946,570
25	0,0025	515,459	0,020	512,042	0,158	650,486	0,229	539,058	209538,259	2868,659
26	0,0026	517,982	0,019	515,689	0,155	653,709	0,211	525,144	199096,189	2937,805
27	0,0026	512,547	0,025	508,143	0,162	645,404	0,210	557,177	194494,990	2675,837
28	0,0028	517,432	0,022	524,060	0,153	652,630	0,217	510,128	186995,029	3099,375
29	0,0028	518,097	0,019	523,601	0,157	654,340	0,211	540,368	186602,422	2948,389
30	0,0024	510,150	0,022	511,572	0,146	645,943	0,217	517,906	209432,797	2761,868
31	0,0024	516,813	0,025	514,714	0,164	656,244	0,223	559,750	212547,591	2570,146
32	0,0026	509,886	0,024	514,324	0,157	653,617	0,223	552,811	194254,849	2578,051
33	0,0025	507,295	0,024	513,372	0,155	647,779	0,216	543,504	204193,978	2744,164
34	0,0027	513,292	0,022	508,338	0,159	650,096	0,217	560,945	192096,064	2999,687
35	0,0027	498,751	0,026	496,332	0,164	629,703	0,217	500,297	185000,825	2769,557
36	0,0026	504,760	0,023	509,542	0,163	639,840	0,221	541,831	193885,007	3240,798
37	0,0024	496,275	0,024	488,855	0,162	626,917	0,207	515,205	203061,747	2345,431
38	0,0024	507,169	0,024	507,490	0,156	646,150	0,206	538,438	207856,150	2707,434
39	0,0025	515,356	0,027	508,155	0,168	647,675	0,228	521,675	207822,049	2615,643
40	0,0028	510,391	0,025	512,879	0,170	649,224	0,233	539,403	183796,946	3203,412

ϵ_y = regangan baja pada saat yield

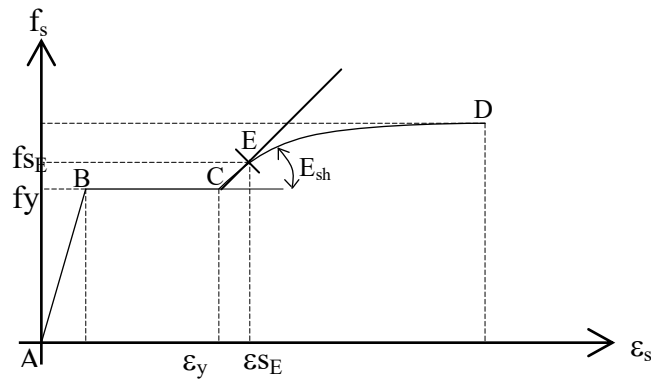
ϵ_{sh} = regangan baja pada saat awal strainhardening

$\epsilon_{sh,ult}$ = regangan baja pada saat mengalami strainhardening ultimit

ϵ_{su} = regangan baja pada saat ultimit

$E_s = \frac{f_y}{\epsilon_y}$ = Modulus elastisitas baja

E_{sh} = Modulus elastisitas baja saat strain hardening.



Gambar 4.2 Diagram tegangan regangan baja

Nilai E_{sh} ini didapat dengan cara menarik garis singgung pada kurva C-D, seperti yang terlihat pada gambar 4.2. Garis singgung berakhir pada titik E. Sehingga nilai E_{sh} adalah :

$$E_{sh} = \frac{f_{sh}}{\epsilon_{sh}}$$

Hasil pencatatan nilai-nilai tegangan-regangan pada tabel 4.2 ini selanjutnya di uji statistik.

Langkah awal untuk menganalisa data adalah menetapkan model distribusi yang sesuai. Pemilihan model distribusi biasanya dilakukan dengan mengasumsikan distribusi sample yang didapat sebagai distribusi normal. Kemudian dilakukan uji kecocokan model distribusi yang dipilih. Salah satu uji kecocokan model distribusi normal adalah uji Kolmogorov-Smirnov.

Langkah pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Langkah pertama adalah mencari nilai mean dan standart deviasi dari masing-masing parameter dengan $n = 40$ (jumlah sampel 40).

4.2.Uji Statistik

Contoh perhitungan nilai mean dan standar deviasi dari data variabel f_y :

Nilai f_y dari ke-40 benda uji tersebut diambil dari tabel 4.3 dan tabel 4.4 yang diurutkan dari nilai terkecil hingga nilai terbesar, hal ini dilakukan untuk keperluan penggambaran kurva distribusi normal. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 nilai variabel fy D13 dan D16

No.	fy
1	481.492
2	481.961
3	482.779
4	482.796
5	483.961
6	486.013
7	490.203
8	490.377
9	490.481
10	490.516
11	490.516
12	490.603
13	490.742
14	490.759
15	490.950
16	491.055
17	491.211
18	491.298
19	491.350
20	491.455
21	491.768
22	491.855
23	492.098
24	492.133
25	492.324
26	492.828
27	493.054
28	493.141
29	493.245
30	493.576
31	494.219
32	494.706
33	494.897
34	495.071
35	495.158
36	495.262
37	495.471
38	496.097
39	496.445
40	497.018

(a) . D13

No.	fy
1	496.275
2	498.751
3	499.359
4	499.738
5	504.760
6	507.169
7	507.295
8	507.799
9	509.886
10	509.944
11	510.150
12	510.391
13	510.460
14	510.815
15	511.182
16	511.274
17	511.755
18	511.847
19	512.547
20	512.971
21	513.292
22	513.590
23	513.774
24	514.542
25	514.599
26	515.356
27	515.425
28	515.459
29	516.813
30	517.432
31	517.753
32	517.845
33	517.982
34	518.097
35	518.475
36	518.682
37	519.645
38	520.001
39	520.023
40	522.546

(b) . D16

Nilai mean untuk parameter fy dengan n = 40 tersebut adalah,

4.2.1 Mean (μ)

Mean dari sebuah populasi dapat ditentukan dengan perumusan:

$$x_m = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Dimana $x_1 + x_2 + \dots + x_n$ adalah nilai sample dan n adalah jumlah sample

Perhitungan nilai Mean untuk tulangan D13

$$\mu_{fy} = \left(\frac{481,492 + 481,961 + 482,779 + \dots + 497,018}{40} \right) = 491,272$$

Jadi nilai mean parameter fy untuk tulangan D13 adalah $\mu_{fy} = 491,272$

Dan nilai standar deviasi tulangan D13 untuk parameter fy dengan n = 40 tersebut adalah :

4.2.2. Standar Deviasi (σ)

Standar Deviasi dari sebuah populasi dapat ditentukan dengan perumusan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum [(x_j - x_m)^2]}{n - 1}}$$

Dimana x_j adalah nilai sample, x_m adalah mean dari sample dan n adalah jumlah sample.

Perhitungan Standar Deviasi tulangan D13 :

$$\begin{aligned} \sigma_{fy} &= \sqrt{\frac{(481,492 - 491,272)^2 + (481,961 - 491,272)^2 + \dots + (497,018 - 491,272)^2}{39 - 1}} \\ &= 3,966 \end{aligned}$$

Jadi nilai standar deviasi tulangan D13 parameter fy adalah $\sigma_{fy} = 3,966$

Dengan nilai mean dan standar deviasi parameter fy tersebut, selanjutnya dilakukan pengujian apakah ke-40 data parameter fy tersebut berdistribusi normal.

4.2.3 Normal Distribusi

Normal distribusi adalah model probabilitas distribusi yang luas penggunaannya dan banyak diketahui. Distribusi berbentuk bel atau yang disebut kurva Probability Density Function (PDF) didapat dengan perumusan:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

Dimana μ dan σ adalah parameter distribusi, yaitu mean dan standar deviasi.

Nilai $f_x(x)$ untuk ke-40 data dari parameter fy adalah,

Nilai $f_x(x)$ untuk data pertama tulangan D13 dari ke-40 data parameter fy didapat dari:

$$f_x(x) = \frac{1}{3,966\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{481,492 - 491,272}{3,966}\right)^2\right] = 0,0048$$

Hasil perhitungan $f_x(x)$ untuk ke-40 data dari parameter fy selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai frekuensi komulatif variabel fy tulangan D13 dan D16

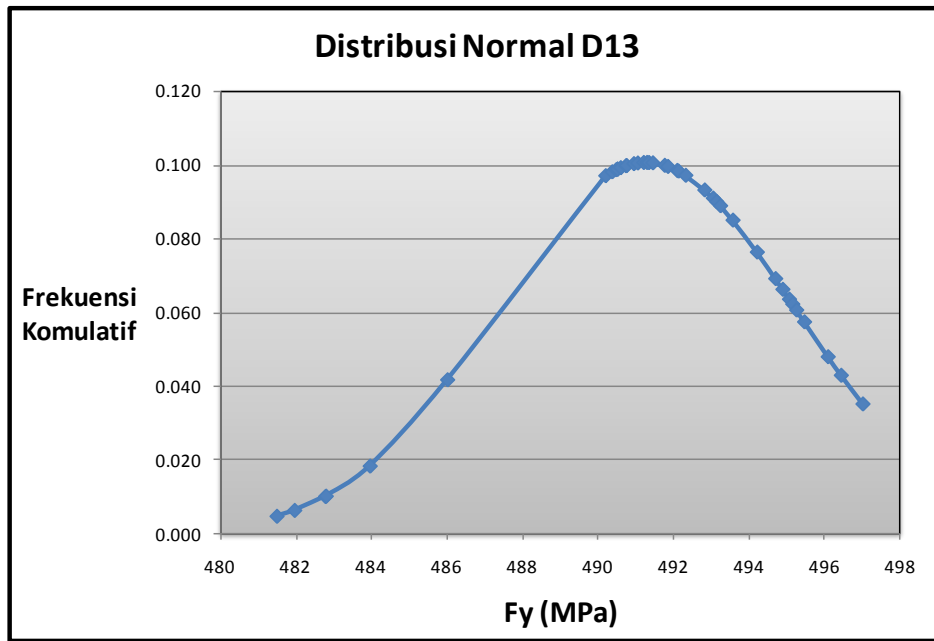
No.	frekuensi komulatif	No.	frekuensi komulatif
1	0.0048	1	0.0001
2	0.0064	2	0.0001
3	0.0102	3	0.0002
4	0.0103	4	0.0002
5	0.0184	5	0.0007
6	0.0418	6	0.0011
7	0.0970	7	0.0011
8	0.0981	8	0.0012
9	0.0986	9	0.0014
10	0.0988	10	0.0014
11	0.0988	11	0.0014
12	0.0992	12	0.0015
13	0.0997	13	0.0015
14	0.0998	14	0.0015
15	0.1003	15	0.0015
16	0.1005	16	0.0015
17	0.1006	17	0.0015
18	0.1006	18	0.0015
19	0.1006	19	0.0015
20	0.1005	20	0.0015
21	0.0998	21	0.0015
22	0.0995	22	0.0015
23	0.0985	23	0.0015
24	0.0983	24	0.0014
25	0.0971	25	0.0014
26	0.0932	26	0.0014
27	0.0910	27	0.0014
28	0.0900	28	0.0014
29	0.0889	29	0.0012
30	0.0850	30	0.0011
31	0.0763	31	0.0011
32	0.0692	32	0.0010
33	0.0663	33	0.0010
34	0.0636	34	0.0010
35	0.0623	35	0.0009
36	0.0607	36	0.0009
37	0.0574	37	0.0008
38	0.0480	38	0.0007
39	0.0430	39	0.0007
40	0.0352	40	0.0004

(a). D13

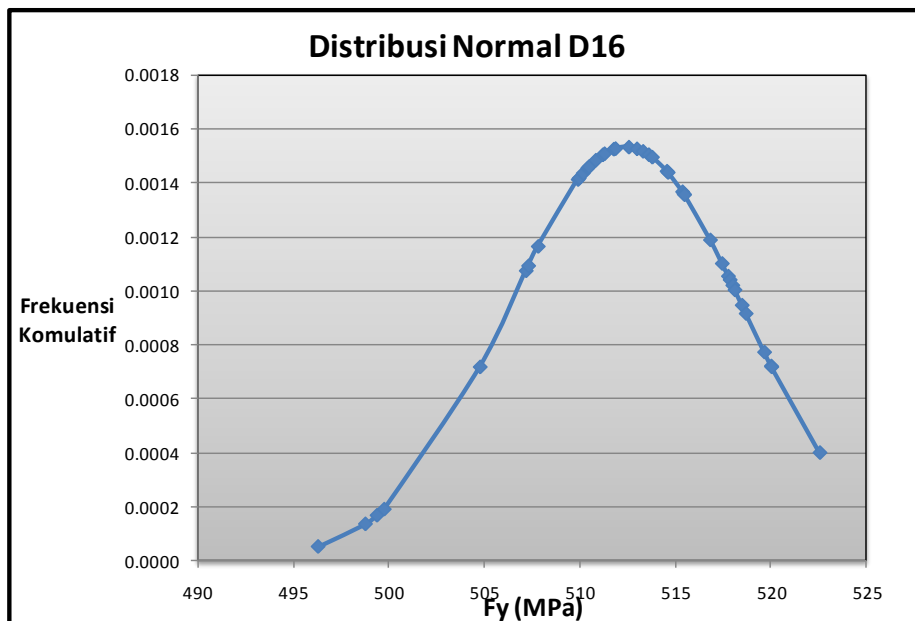
(b). D16

Hasil perhitungan frekuensi komulatif pada tabel 4.6 ini digunakan untuk menggambar kurva distribusi normal.

Gambar kurva distribusi normal untuk parameter f_y dapat dilihat pada gambar 4.3. dan gambar 4.4



Gambar 4.3 Grafik distribusi normal parameter f_y tulangan D13



Gambar 4.4 Grafik distribusi normal parameter f_y tulangan D16

Gambar 4.3 dan gambar 4.4 memperlihatkan bahwa ke-40 data pada parameter f_y membentuk kurva distribusi normal.

Cara yang sama juga dilakukan terhadap 5 parameter baja yang lain, yaitu $f_{sh,ult}, \epsilon_{sh}, \epsilon_{sh,ult}, E_s$ dan E_{sh} . Hasilnya ke 5 parameter baja tersebut juga membentuk kurva distribusi normal.

Pengujian selanjutnya menggunakan uji kolmogorov-smirnov untuk mengetahui kecocokan data terhadap model distribusi normal yang dipilih.

4.3. Uji Kolmogorov-Smirnov (KS)

Uji Kolmogorov-Smirnov memiliki prosedur analisa yang sederhana namun hasilnya masih tetap akurat meskipun dipakai untuk jumlah sample yang kecil. Prosedur dasarnya adalah membandingkan nilai Dmax (absolut) terhadap Dkritis. Nilai Dmax diambil dari nilai absolute terbesar dari dua perumusan berikut ini:

$$D_{\max} = |Fn - Fo| \text{ atau}$$

$$D_{\max} = |F_o - F_{n-1}|$$

dimana

Fo adalah nilai frekuensi komulatif yang didapat dengan menggunakan salah satu teori distribusi (teori distribusi normal)

$$F_o(x_i) = P_o(x - x_i) = CDF(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{1}{2}[(x-\mu)/\sigma]^2} dx$$

Fn adalah nilai frekuensi komulatif dari sample dan n = jumlah sample dan j = nomor sample

$$Fn_j = \left(\frac{j}{n}\right) \quad ; \quad F_{n-1} = \left(\frac{j-1}{n}\right)$$

Contoh perhitungan Dmax dari variabel fy untuk data pertama tulangan D13,

$$F_o(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot 3,96621}} \int_0^{481,49197} e^{-\frac{1}{2}[(481,49197-491,27203)/3,96621]^2} dx = 0,00683$$

$$Fn = \frac{1}{40} = 0,025 \text{ dan}$$

$$F_{n-1} = \left(\frac{1-1}{40}\right) = 0$$

$$D+ = 0,025 - 0,00683 = 0,0181$$

$$D- = 0,00683 - 0 = 0,00683$$

Contoh perhitungan Dmax dari variabel fy untuk data pertama tulangan D16,

$$F_o(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi 6,19428}} \int_0^{496,2745} e^{-\left(\frac{1}{2}\right)\left[\frac{(496,2745-512,3925)^2}{6,19428}\right]} dx = 0,00463$$

$$F_n = \frac{1}{40} = 0,025 \text{ dan}$$

$$F_{n-1} = \left(\frac{1-1}{40}\right) = 0$$

$$D+ = 0,025 - 0,00463 = 0,0204$$

$$D- = 0,00463 - 0 = 0,00463$$

Perhitungan D+ dan D- selanjutnya untuk ke-40 data parameter fy dapat dilihat pada tabel 4.7 dan 4.8

Tabel 4.7 Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter fy tulangan D13

No.	X fy (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	481.492	0.005	0.007	0.025	0.000	0.018	0.007
2	481.961	0.006	0.009	0.050	0.025	0.041	0.016
3	482.779	0.010	0.016	0.075	0.050	0.059	0.034
4	482.796	0.010	0.016	0.100	0.075	0.084	0.059
5	483.961	0.018	0.033	0.125	0.100	0.092	0.067
6	486.013	0.042	0.092	0.150	0.125	0.058	0.033
7	490.203	0.097	0.394	0.175	0.150	0.219	0.244
8	490.377	0.098	0.411	0.200	0.175	0.211	0.236
9	490.481	0.099	0.421	0.225	0.200	0.196	0.221
10	490.516	0.099	0.424	0.250	0.225	0.174	0.199
11	490.516	0.099	0.424	0.275	0.250	0.149	0.174
12	490.603	0.099	0.433	0.300	0.275	0.133	0.158
13	490.742	0.100	0.447	0.325	0.300	0.122	0.147
14	490.759	0.100	0.449	0.350	0.325	0.099	0.124
15	490.950	0.100	0.468	0.375	0.350	0.093	0.118
16	491.055	0.100	0.478	0.400	0.375	0.078	0.103
17	491.211	0.101	0.494	0.425	0.400	0.069	0.094
18	491.298	0.101	0.503	0.450	0.425	0.053	0.078
19	491.350	0.101	0.508	0.475	0.450	0.033	0.058
20	491.455	0.101	0.518	0.500	0.475	0.018	0.043
21	491.768	0.100	0.550	0.525	0.500	0.025	0.050
22	491.855	0.100	0.558	0.550	0.525	0.008	0.033
23	492.098	0.098	0.582	0.575	0.550	0.007	0.032
24	492.133	0.098	0.586	0.600	0.575	0.014	0.011
25	492.324	0.097	0.605	0.625	0.600	0.020	0.005
26	492.828	0.093	0.653	0.650	0.625	0.003	0.028
27	493.054	0.091	0.673	0.675	0.650	0.002	0.023
28	493.141	0.090	0.681	0.700	0.675	0.019	0.006
29	493.245	0.089	0.691	0.725	0.700	0.034	0.009
30	493.576	0.085	0.719	0.750	0.725	0.031	0.006
31	494.219	0.076	0.771	0.775	0.750	0.004	0.021
32	494.706	0.069	0.807	0.800	0.775	0.007	0.032
33	494.897	0.066	0.820	0.825	0.800	0.005	0.020
34	495.071	0.064	0.831	0.850	0.825	0.019	0.006
35	495.158	0.062	0.836	0.875	0.850	0.039	0.014
36	495.262	0.061	0.843	0.900	0.875	0.057	0.032
37	495.471	0.057	0.855	0.925	0.900	0.070	0.045
38	496.097	0.048	0.888	0.950	0.925	0.062	0.037
39	496.445	0.043	0.904	0.975	0.950	0.071	0.046
40	497.018	0.035	0.926	1.000	0.975	0.074	0.049
					MAX	0.219	0.244
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01						0.252	
					DMAX 0.243759	ok	Dkritis 0.25200

Tabel 4.8 Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter fy tulangan D16

No.	X fy (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	496.275	0.0001	0.005	0.025	0.000	0.020	0.005
2	498.751	0.0001	0.014	0.050	0.025	0.036	0.011
3	499.359	0.0002	0.018	0.075	0.050	0.057	0.032
4	499.738	0.0002	0.021	0.100	0.075	0.079	0.054
5	504.760	0.0007	0.109	0.125	0.100	0.016	0.009
6	507.169	0.0011	0.200	0.150	0.125	0.050	0.075
7	507.295	0.0011	0.205	0.175	0.150	0.030	0.055
8	507.799	0.0012	0.229	0.200	0.175	0.029	0.054
9	509.886	0.0014	0.343	0.225	0.200	0.118	0.143
10	509.944	0.0014	0.346	0.250	0.225	0.096	0.121
11	510.150	0.0014	0.359	0.275	0.250	0.084	0.109
12	510.391	0.0015	0.373	0.300	0.275	0.073	0.098
13	510.460	0.0015	0.378	0.325	0.300	0.053	0.078
14	510.815	0.0015	0.399	0.350	0.325	0.049	0.074
15	511.182	0.0015	0.423	0.375	0.350	0.048	0.073
16	511.274	0.0015	0.428	0.400	0.375	0.028	0.053
17	511.755	0.0015	0.459	0.425	0.400	0.034	0.059
18	511.847	0.0015	0.465	0.450	0.425	0.015	0.040
19	512.547	0.0015	0.510	0.475	0.450	0.035	0.060
20	512.971	0.0015	0.537	0.500	0.475	0.037	0.062
21	513.292	0.0015	0.558	0.525	0.500	0.033	0.058
22	513.590	0.0015	0.577	0.550	0.525	0.027	0.052
23	513.774	0.0015	0.588	0.575	0.550	0.013	0.038
24	514.542	0.0014	0.636	0.600	0.575	0.036	0.061
25	514.599	0.0014	0.639	0.625	0.600	0.014	0.039
26	515.356	0.0014	0.684	0.650	0.625	0.034	0.059
27	515.425	0.0014	0.688	0.675	0.650	0.013	0.038
28	515.459	0.0014	0.690	0.700	0.675	0.010	0.015
29	516.813	0.0012	0.762	0.725	0.700	0.037	0.062
30	517.432	0.0011	0.792	0.750	0.725	0.042	0.067
31	517.753	0.0011	0.807	0.775	0.750	0.032	0.057
32	517.845	0.0010	0.811	0.800	0.775	0.011	0.036
33	517.982	0.0010	0.817	0.825	0.800	0.008	0.017
34	518.097	0.0010	0.821	0.850	0.825	0.029	0.004
35	518.475	0.0009	0.837	0.875	0.850	0.038	0.013
36	518.682	0.0009	0.845	0.900	0.875	0.055	0.030
37	519.645	0.0008	0.879	0.925	0.900	0.046	0.021
38	520.001	0.0007	0.890	0.950	0.925	0.060	0.035
39	520.023	0.0007	0.891	0.975	0.950	0.084	0.059
40	522.546	0.0004	0.949	1.000	0.975	0.051	0.026
					MAX	0.118	0.143
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01						0.252	
					DMAX 0.143	ok	Dkritis 0.252

Pada tabel 4.7 tulangan D13 terlihat nilai absolut max dari D+ = 0,219 dan D- = 0,244

Nilai absolut Dmax = 0,244 (diambil nilai terbesar dari nilai D+ dan D-).

Pada tabel 4.8 tulangan D16 terlihat nilai absolut max dari D+ = 0,118 dan D- = 0,143

Nilai absolut Dmax = 0,143 (diambil nilai terbesar dari nilai D+ dan D-).

Model distribusi yang dipilih dikatakan sesuai atau tidak berdasarkan nilai Dmax (absolut) terhadap nilai Dkritis. Bila $D_{max} < D_{kritis}$ maka model distribusi yang dipilih dianggap sesuai.

Dari tabel D kritis uji Kolmogorov-Smirnov, didapat nilai Dkritis = 0,252 ($\alpha = 1\%$ dan jumlah sample 40).

Nilai absolut $D_{max} = 0,244 < D_{kritis} = 0,252$ artinya model distribusi normal yang dipilih adalah tepat untuk tulangan D13.

Nilai absolut $D_{max} = 0,143 < D_{kritis} = 0,252$ artinya model distribusi normal yang dipilih adalah tepat untuk tulangan D16.

Hasil uji statistik parameter lainnya dari ke-6 parameter baja yang diuji tarik dapat dilihat ditabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Uji Statistik ke-8 parameter baja yang diuji tarik

Tulangan D-13	fy	fsh	fsh ult	fult	εy	εsh	εsh.ult	ε.ult
	MPa	MPa	MPa	MPa	mm/mm	mm/mm	mm/mm	mm/mm
1. Mean	491.272	491.272	727.844	639.252	0.002	0.002	0.161	0.211
2. Standar Deviasi	3.966	3.966	12.533	28.901	0.000	0.000	0.008	0.009
5. Kolmogorov - Smirnov (KS) Test								
5.a. Dmax (absolut)	0.244	0.244	0.243	0.205	0.150	0.150	0.131	0.110
5.b. Dkritis dengan n (jumlah sample) =40								
level alfa = 1%	0.252							
level alfa = 2%	0.235							
level alfa = 5%	0.210							
level alfa = 10%	0.189							
level alfa = 20%	0.165							

Tulangan D-16	fy	fsh	fsh ult	fult	εy	εsh	εsh.ult	ε.ult
	MPa	MPa	MPa	MPa	mm/mm	mm/mm	mm/mm	mm/mm
1. Mean	512.392	513.227	648.199	527.911	0.003	0.022	0.159	0.216
2. Standar Deviasi	6.194	7.686	6.859	23.379	0.000	0.002	0.007	0.009
5. Kolmogorov - Smirnov (KS) Test								
5.a. Dmax (absolut)	0.143	0.140	0.152	0.109	0.107	0.084	0.107	0.106
5.b. Dkritis dengan n (jumlah sample) = 40								
level alfa = 1%	0.252							
level alfa = 2%	0.235							
level alfa = 5%	0.210							
level alfa = 10%	0.189							
level alfa = 20%	0.165							

Tabel 4.9 memperlihatkan hasil uji statistik dari 8 parameter baja. Nilai absolut Dmax dari masing-masing parameter baja lebih kecil dibandingkan nilai Dkritis, baik untuk nilai Dkritis dengan $\alpha = 1\%$, artinya semua parameter baja yang diuji tarik berdistribusi normal.

Tabel 4.9 juga memperlihatkan nilai mean f_y dari baja yang diuji tarik, yaitu $f_y = 491,272$ MPa untuk tulangan D13 dan $f_y = 512,392$ Mpa untuk tulangan D16.

Tabel 4.9 juga memperlihatkan nilai mean $f_{sh\ ult} = 727,844$ MPa dan nilai mean $f_y = 491,272$ Mpa untuk tulangan D13 dan $f_{sh\ ult} = 648,199$ MPa dan nilai mean $f_y = 512,392$ Mpa untuk tulangan D16, artinya pada saat ditarik, lalu memasuki fase strain hardening ultimit, baja mengalami kenaikan tegangan sebesar 1,48 kali tegangan yield ($f_{su} = 1,48f_y$) untuk tulangan D13 dan sebesar 1,265 kali tegangan yield ($f_{su} = 1,265f_y$)

Dari tabel 4.9, bila regangan di daerah strain hardening sampai strain hardening ultimit dibagi menjadi 20 titik, maka didapat jarak antar regangan sebesar:

$(0,122-0,017)/20 = 0,0077$ mm/mm dan data regangan di daerah strain hardening sampai strain hardening ultimit menjadi data yang terlihat pada tabel 4.10. Dan data tegangan di tiap titik tersebut didapat dengan cara sama seperti mencari tegangan pada tabel 4.9, dengan cara rata-rata dari 40 data uji tarik, sehingga didapat data tegangan seperti pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data regangan dan tegangan rata-rata baja f_y mean= 491,272 Mpa tulangan D13 dan f_y mean= 512,392 tulangan D16, dari awal penarikan hingga mencapai ultimit

Benda Uji D-13	Mean Aktual	
	Regangan (mm/mm)	Tegangan (Mpa)
	0	0
yield	0.002	491.272
Strain Hardening	0.002	491.272
	0.018	564.741
	0.034	614.688
	0.050	651.149
	0.066	673.845
	0.082	695.365
	0.098	705.762
	0.114	716.653
	0.130	721.992
	0.145	724.921
Strain Hardening Ultimate	0.161	727.844
	0.171	721.544
	0.181	705.355
	0.191	685.843
	0.201	665.972
Ultimate	0.211	639.252

Benda Uji D-16	Mean Aktual	
	Regangan (mm/mm)	Tegangan (Mpa)
	0	0
yield	0.003	512.392
	0.007	515.569
	0.010	517.613
	0.014	518.160
	0.018	518.580
Strain Hardening	0.022	513.227
	0.036	559.514
	0.050	586.454
	0.063	607.118
	0.077	622.001
	0.090	632.344
	0.104	639.330
	0.118	644.037
	0.131	646.855
Strain Hardening Ultimate	0.145	648.084
	0.159	648.199
	0.170	643.122
	0.182	630.863
	0.193	610.529
	0.205	575.375
Ultimate	0.216	527.911

Ket:

Regangan = mm/mm ; Tegangan = MPa

sh = strain hardening ; sh ult = strain hardening ultimit

Bila data tabel 4.10 di konversi terhadap perumusan model diagram tegangan regangan baja oleh Mander, maka didapat data pada tabel 4.11.

Dengan nilai P dan Et sebagai berikut:

$$P = E_{sh} \left[\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}}{f_{su} - f_y} \right] = 3405,24 \left[\frac{0,1614 - 0,0022}{727,844 - 491,272} \right] = 2,291$$

Nilai tegangan didapat dengan formula:

a. Daerah elastik $(0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y)$

$f_s = E_t \varepsilon_s$ pada daerah ini tidak ditampilkan pada tabel 4.10 karena garisnya yang hampir berbentuk linier sempurna memiliki nilai yang sama dengan Mander

b. Yield Plateau $(\varepsilon_y < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh})$

$E_t = 0$ maka $f_s = f_y = 491,272 \text{ Mpa}$

c. Daerah Strain Hardening $(\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})$

Pada regangan $\varepsilon_s = 0,018 \text{ mm/mm}$, maka tegangannya:

$$f_s = f_{su} + (f_y - f_{su}) \left| \frac{\epsilon_{su} - \epsilon_s}{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}} \right|^P = 727,844 + (491,272 - 727,849) \left| \frac{0,161 - 0,018}{0,161 - 0,0022} \right|^{27,799} = 564,741 \text{ Mpa}$$

Dengan cara yang sama, dicari juga tegangan-tegangan pada titik-titik berikutnya. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data regangan dan tegangan baja (f_y mean = 491,272 Mpa dan f_y mean = 512,392 Mpa), dengan formula Mander

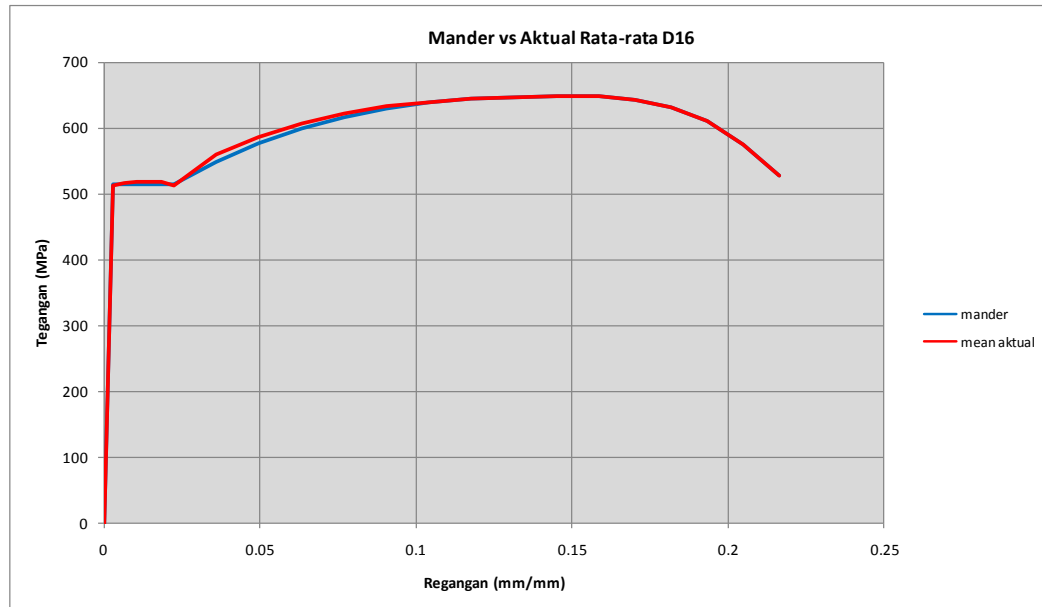
Benda Uji D-13	Mander	
	Regangan (mm/mm)	Tegangan (Mpa)
	0	0
yield	0.002	494.207
Strain Hardening	0.002	494.207
	0.018	542.003
	0.034	585.951
	0.050	623.345
	0.066	654.435
	0.082	679.498
	0.098	698.847
	0.114	712.842
	0.130	721.918
	0.145	726.633
Strain Hardening Ultimate	0.161	727.844
	0.171	721.544
	0.181	705.355
	0.191	685.843
	0.201	665.972
Ultimate	0.211	639.252

Benda Uji D-16	Mander	
	Regangan (mm/mm)	Tegangan (Mpa)
	0	0
yield	0.003	513.507
	0.007	513.507
	0.010	513.507
	0.014	513.507
	0.018	513.507
Strain Hardening	0.022	513.507
	0.036	547.917
	0.050	576.750
	0.063	599.549
	0.077	616.981
	0.090	629.728
	0.104	638.481
	0.118	643.953
	0.131	646.878
	0.145	648.020
Strain Hardening Ultimate	0.159	648.199
	0.170	643.122
	0.182	630.863
	0.193	610.529
	0.205	575.375
Ultimate	0.216	527.911

Catatan:

Regangan = mm/mm ; Tegangan = Mpa ; sh = strain hardening ; sh ult = strain hardening ultimit

Dari data pada tabel 4.11 diplot kurva tegangan-regangan bajanya, seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Kurva tegangan-regangan baja Aktual-Mander tulangan D16

Gambar 4.5 memperlihatkan baja hasil produksi Indonesia yang di studi menghasilkan diagram $f - \epsilon$ baja yang mendekati model diagram $f - \epsilon$ baja yang diusulkan oleh Mander .

Tegangan baja aktual terlihat lebih besar dibanding nilai tegangan dengan formula Mander. Perlu diketahui bahwa nilai tegangan pada grafik aktual didapat dari uji tarik terhadap 40 sampel baja dari populasi baja yang terbatas di satu proyek. Nilai tegangan dengan formula Mander didapat dengan memasukkan nilai-nilai karakteristik baja aktual yang distudi ke dalam formula Mander, formula Mander telah dibuat dari penelitian terhadap ribuan sampel baja, karena hal tersebut maka ada perbedaan nilai tegangan baja pada gambar 4.5.

4.4. Analisa Momen Kurvatur

Proses analisa dimulai dengan mencari nilai variabel dari model uji pertama (f_y , f_{shu} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , E_s dan E_{sh}). Dengan nilai variabel dari benda uji pertama ini, proses analisa momen kurvatur dimulai dengan menaikkan nilai regangan tekan beton pada serat terluar dengan increment kecil dan daerah tekan beton dibagi menjadi beberapa pias.

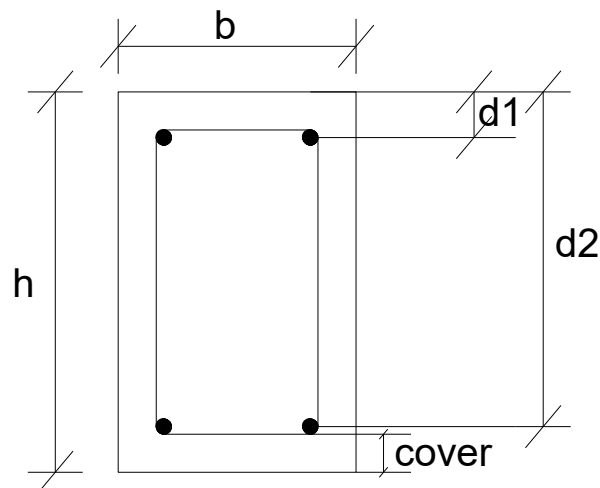
Untuk setiap nilai regangan beton akan didapat nilai garis netral dimana nilai total gaya-gaya dalam yang bekerja sama dengan nol. Dengan nilai garis netral ini juga akan didapat nilai momen dan kurvatur dari tiap nilai regangan tekan beton.

Proses dilanjutkan lagi dengan menaikkan nilai regangan tekan beton pada serat terluar. Proses berhenti pada saat $\epsilon_s > \epsilon_{su}$ atau $\epsilon_{ca} > \epsilon_{cc50}$. Proses analisa mulai lagi dari awal dengan model uji dengan variabel (f_y , f_{shu} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , E_s dan E_{sh}) berikutnya.

Untuk setiap model uji akan didapat nilai momen yield, momen ultimit, kurvatur yield, dan kurvatur ultimit.

Sebagai contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai momen dan kurvatur, dipilih model uji 1 dengan proses perhitungan sebagai berikut:

Diketahui penampang balok :



Gambar 4.6 Penampang balok

Data penampang balok seperti yang terlihat pada gambar 4.4:

$b = 300 \text{ mm}$; $h = 450 \text{ mm}$; Cover = 40 mm; Jarak sengkang (sh) = 100 mm

Tulangan longitudinal atas = 4D16

Tulangan longitudinal bawah = 4D16

Diameter tulangan sengkang (dh) = 10 mm

$d1 = \text{cover} + dh + (dtul/2) = 40 + 10 + 16/2 = 58 \text{ mm}$

$d2 = h - \text{cover} - dh - (dtul/2) = 450 - 40 - 10 - 16/2 = 392 \text{ mm}$

Luas tulangan atas ($As1$) = $(\frac{1}{4}\pi d^2)n_1 = (\frac{1}{4}\pi 16^2)2 = 402,124 \text{ mm}^2$

Luas tulangan bawah ($As2$) = $(\frac{1}{4}\pi d^2)n_2 = (\frac{1}{4}\pi 16^2)2 = 402,124 \text{ mm}^2$

Dari benda uji yang pertama untuk diameter 13 didapat nilai variabel sbb:

$f_c' = 20 \text{ Mpa}$; $f_y = 507,799 \text{ Mpa}$ dan $f_{su} = 644,670 \text{ Mpa}$ $E_s = 200930,532$

Mpa dan $E_{sh} = 2794,577 \text{ MPa}$

$\varepsilon_{sh} = 0,01946 \text{ mm/mm}$ dan $\varepsilon_{su} = 0,15333 \text{ mm/mm}$

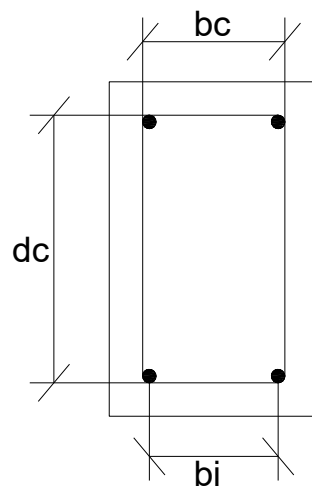
$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s} = \frac{507,799}{200930,532} = 0,002527 \text{ mm/mm}$$

Nilai variabel-variabel pada perumusan tegangan regangan oleh Kappos

Konstantinidis adalah sebagai berikut:

Nilai E_c sesuai persamaan 3.24:

$$E_c = 22000(f_c'/10)^{0,3} = 22000(20/10)^{0,3} = 27085,17709 \text{ Mpa}$$



Gambar 4.7 Penampang balok terkekang

b_c dan d_c adalah dimensi daerah balok yang terkekang seperti yang terlihat pada gambar 4.5 dan b_i adalah jarak antar tulangan longitudinal yang dihitung dari pusat ke pusat tulangan. Nilai k_e dicari dengan persamaan 3.24:

$$k_e = \left[1 - \frac{\sum(b_i)^2}{6b_c d_c} \right] \left[1 - \frac{S_h}{b_c} \right]$$

$$k_E = 0,7357$$

Nilai ρ_s dicari dengan persamaan 3.23:

$$\rho_s = \frac{vol.sengk}{vol.beton.int\ i} = 0,0132$$

Nilai E_c dicari dengan persamaan 3.18:

$$E_c = 0,043w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} = 22609.9717$$

Nilai ϵ_{cu} dicari dengan persamaan 3.22:

$$\epsilon_{cu} = \epsilon_{cc} + \frac{f_{cc}}{2E_{des}} = 0,02866$$

Nilai ϵ_{cc} dicari dengan persamaan 3.25:

$$\epsilon_{cc} = 0,0029 + 0,055 \frac{f_{\ell e}}{f'_c}$$

$$\epsilon_{cc} = 0,00947\ mm / mm$$

Nilai $f_{\ell e}$ dicari dengan persamaan 3.19:

$$f_{\ell e} = 0,5k_e \rho_s f_{yh} = 2,389$$

Nilai f_{cc} dicari dengan persamaan 3.20:

$$f_{cc} = f'_c \left[1 + 3,7 \frac{f_{\ell e}}{f'_c} \right]$$

$$f_{cc} = 28,8401\ MPa$$

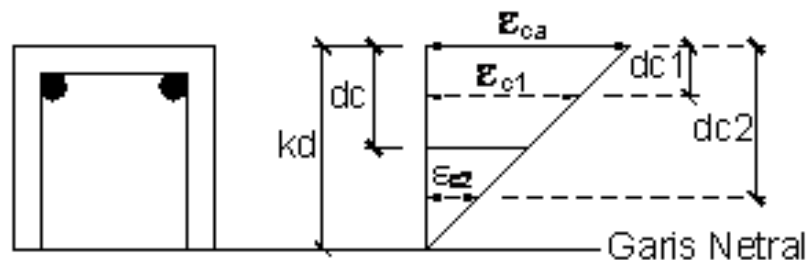
Nilai K_b dicari dengan rumus:

$$K_b = \frac{E_c \varepsilon_{cc}}{f_{cc}} = 7,4245$$

Nilai E_{des} dicari dengan persamaan 3.21:

$$E_{des} = \frac{12,2}{\rho_s f_{yh} / (f'_c)^2} = 751.4378$$

Perhitungan pertama dilakukan dengan regangan tekan beton pada serat terluar (ε_{ca}) adalah 0,00025. Kemudian dilakukan interpolasi untuk mencari nilai garis netral (Kd) yang tepat untuk regangan 0,00025 dengan kondisi total gaya dalam yang bekerja adalah sama dengan nol. Bila dilakukan dengan cara manual maka untuk mendapatkan nilai Kd bisa digunakan metode secant, namun dalam program hitung macros excel bisa langsung didapatkan nilai Kd yang tepat saat regangan beton 0,00025 adalah sebesar 100,188 mm



Gambar 4.8 Penampang dan diagram regangan tekan balok

Untuk contoh perhitungan dengan cara manual dan untuk mempermudah perhitungan, daerah tekan beton hanya dibagi menjadi 2 pias ($n = 2$), seperti yang terlihat pada gambar 4.6. dengan tinggi setiap pias = d_c .

$$d_c = \frac{kd}{n} = \frac{100,188}{2} = 50,094 \text{ mm}$$

$$d_{c1} = 0,5d_c = 25,047 \text{ mm}$$

$$d_{c2} = d_c + 0,5d_c = 75,141 \text{ mm}$$

Perhitungan Beton

- Regangan Beton

Regangan beton ditengah pias pertama (ε_{c1})

$$\frac{\varepsilon_{ca}}{kd} = \frac{\varepsilon_{c1}}{kd - d_{c1}}$$

$$\varepsilon_{c1} = 0.0001875 \text{ mm/mm (+ = tertekan)}$$

Regangan beton ditengah pias kedua (ε_{c2})

$$\frac{\varepsilon_{ca}}{kd} = \frac{\varepsilon_{c2}}{kd - d_{c2}}$$

$$\varepsilon_{c2} = 0.0000625 \text{ mm/mm (+ = tertekan)}$$

- Tegangan Beton (Rumus Kappos-Konstantinidis untuk beton terkekang)

Tegangan beton ditengah pias pertama (f_{c1})

Karena $\varepsilon_c = 0.0001875 < \varepsilon_{cc} = 0,00283$, maka perhitungan nilai f_c menggunakan persamaan 3.16 :

$$f_{c1} = 5,00871 \text{ MPa}$$

Tegangan beton ditengah pias kedua (f_{c2})

Karena $\varepsilon_c = 0,0000625 < \varepsilon_{cc} = 0.00283$, maka perhitungan nilai f_c menggunakan persamaan 3.16

$$f_{c2} = 1,6892 \text{ Mpa}$$

- Gaya Beton dengan nilai kd = 100,188 mm

- Gaya beton ditengah pias pertama (F_{c1})

$$F_{c1} = f_{c1} \cdot d_c \cdot b = 75271,875 \text{ N}$$

- Gaya beton ditengah pias kedua (F_{c2})

$$F_{c2} = f_{c2} \cdot d_c \cdot b = 25385,6671 \text{ N}$$

Perhitungan Baja

- Regangan Baja

Regangan baja dibagian atas penampang (ε_{s1})

$$\frac{\varepsilon_{ca}}{kd} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d_1 - kd}$$

$$\varepsilon_{s1} = -0,000105 \text{ mm/mm (- = tertekan)}$$

Regangan baja dibagian bawah penampang (ε_{s2})

$$\frac{\varepsilon_{ca}}{kd} = \frac{\varepsilon_{s2}}{d_2 - kd}$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,000728 \text{ mm/mm (+ = tertarik)}$$

- Tegangan Baja (rumus Mander)

Tegangan baja ditengah pias pertama (f_{s1})

Karena $\varepsilon_{s1} = 0.000105 < \varepsilon_{sy} = 0,002527$, maka perhitungan nilai f_{s1} menggunakan persamaan 3.7:

$$f_{s1} = E_s \varepsilon_{s1} = 200930,532 \times (-0.000105) = - 21,15238 \text{ Tekan}$$

Tegangan baja ditengah pias kedua (f_{s2})

Karena $\varepsilon_{s2} = 0.000728 < \varepsilon_{sy} = 0.002527$, maka perhitungan nilai f_{s2} menggunakan persamaan 3.7:

$$f_{s2} = E_s \varepsilon_{s1} = 200930,532 \times 0,000728 = 146,3097 \text{ Tarik}$$

- Gaya Baja dengan nilai kd = 100,188 mm

Gaya baja ditengah pias pertama (F_{s1})

$$F_{s1} = f_{s1} \cdot A_{s1} = -17011,753 \text{ N}$$

- Gaya baja ditengah pias kedua (F_{s2})

$$F_{s2} = f_{s2} \cdot A_{s2} = 117669,2957 \text{ N}$$

- Total Gaya Dalam dengan nilai kd = 100,188 mm

$$\text{Total gaya dalam} = -F_{c1} - F_{c2} + F_{s1} + F_{s2} = 0,00 \text{ N}$$

Sehingga Total gaya dalam sama dengan 0 (nol) pada saat nilai Kd sebesar 100,188. Perhitungan dengan nilai $\varepsilon_{ca} = 0,00025$ dan nilai kd = 100,188 mm ini dilanjutkan dengan mencari nilai momen dan kurvturnya.

$$M = F_{c.total} (h/2 - y) + F_{s1} (h/2 - d_1) + F_{s2} (d_2 - h/2)$$

Jarak F_{c1} ke serat atas:

$$y_1 = \frac{d_c}{2} = \frac{kd/2}{2} = 25,047 \text{ mm}$$

Jarak F_{c2} ke serat atas:

$$y_2 = d_c + \frac{d_c}{2} = \left(\frac{kd}{2} \right) + \frac{kd/2}{2} = 475,141 \text{ mm}$$

Jarak $F_{c.total}$ keserat atas:

$$y = \frac{((F_{c1})y_1) + ((F_{c2})y_2)}{F_{c.total}}$$

$$y = 37,6806 \text{ mm}$$

$$M = 41346842,69 \text{ MPa}$$

$$\phi = \varepsilon_{ca} / kd = 2,50\text{E} - 06$$

Contoh Hasil perhitungan (ε_{ca}) sebesar 0,00025 hingga mencapai $\varepsilon_s > \varepsilon_{su}$ atau

$\varepsilon_c > \varepsilon_{cc}$ dan total gaya dalam sama dengan 0 (nol) untuk D16 dapat dilihat pada

Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Momen Kurvatur $f'_c = 20 \text{ MPa}$, D16 $f_y = 512,392 \text{ MPa}$

ec	Kd	Mn	ϕ	Myield	Kurvyield	$\mu\phi$
0.00025	100.188	4.1E+07	2.5E-06	1.2E+08	7.34E-06	0.340
0.00050	101.047	8.2E+07	4.9E-06			0.675
0.00075	102.236	1.2E+08	7.3E-06			1.000
0.00100	94.764	1.4E+08	1.1E-05			1.438
0.00125	80.641	1.5E+08	1.6E-05			2.113
0.00150	72.278	1.5E+08	2.1E-05			2.829
0.00175	66.961	1.5E+08	2.6E-05			3.563
0.00200	63.406	1.5E+08	3.2E-05			4.300
0.00225	60.941	1.5E+08	3.7E-05			5.033
0.00250	59.186	1.5E+08	4.2E-05			5.758
0.00275	57.914	1.5E+08	4.7E-05			6.473
0.00300	56.979	1.5E+08	5.3E-05			7.177
0.00325	56.287	1.5E+08	5.8E-05			7.871
0.00350	55.962	1.5E+08	6.3E-05			8.525
0.00375	55.754	1.5E+08	6.7E-05			9.169
0.00400	55.676	1.5E+08	7.2E-05			9.793
0.00425	55.632	1.6E+08	7.6E-05			10.414
0.00450	55.609	1.6E+08	8.1E-05			11.031
0.00475	55.604	1.6E+08	8.5E-05			11.645
0.00500	55.615	1.6E+08	9.0E-05			12.255
0.00525	55.639	1.6E+08	9.4E-05			12.862
0.00550	55.674	1.6E+08	9.9E-05			13.466
0.00575	55.719	1.6E+08	1.0E-04			14.067
0.00600	55.772	1.6E+08	1.1E-04			14.665
0.00625	55.833	1.6E+08	1.1E-04			15.259
0.00650	55.900	1.6E+08	1.2E-04			15.851
0.00675	55.971	1.6E+08	1.2E-04			16.439
0.00700	56.047	1.7E+08	1.2E-04			17.025
0.00725	56.127	1.7E+08	1.3E-04			17.608
0.00750	56.209	1.7E+08	1.3E-04			18.189
0.00775	56.294	1.7E+08	1.4E-04			18.767
0.00800	56.380	1.7E+08	1.4E-04			19.342
0.00825	56.468	1.7E+08	1.5E-04			19.916
0.00850	56.557	1.7E+08	1.5E-04			20.487
0.00875	56.647	1.7E+08	1.5E-04			21.056
0.00900	56.737	1.7E+08	1.6E-04			21.623
0.00925	56.827	1.7E+08	1.6E-04			22.189
0.00950	56.917	1.7E+08	1.7E-04			22.752
0.00975	57.006	1.7E+08	1.7E-04			23.315
0.01000	57.095	1.7E+08	1.8E-04			23.875
0.01025	57.183	1.7E+08	1.8E-04			24.434
0.01050	57.270	1.7E+08	1.8E-04			24.992
0.01075	57.357	1.7E+08	1.9E-04			25.549
0.01100	57.442	1.7E+08	1.9E-04			26.104
0.01125	57.526	1.8E+08	2.0E-04			26.658
0.01150	57.616	1.8E+08	2.0E-04			27.208

Tabel 4.12 Momen Kurvatur $f'_c = 20 \text{ MPa}$, D16 $f_y = 512,392$ (Lanjutan)

ec	Kd	Mn	ϕ	Myield	Kurvyield	$\mu\phi$
0.01175	57.708	1.8E+08	2.0E-04			27.755
0.01200	57.796	1.8E+08	2.1E-04			28.303
0.01225	57.880	1.8E+08	2.1E-04			28.850
0.01250	57.961	1.8E+08	2.2E-04			29.398
0.01275	58.040	1.8E+08	2.2E-04			29.945
0.01300	58.115	1.8E+08	2.2E-04			30.493
0.01325	58.188	1.8E+08	2.3E-04			31.040
0.01350	58.258	1.8E+08	2.3E-04			31.588
0.01375	58.325	1.8E+08	2.4E-04			32.136
0.01400	58.390	1.8E+08	2.4E-04			32.684
0.01425	58.452	1.8E+08	2.4E-04			33.232
0.01450	58.513	1.8E+08	2.5E-04			33.780
0.01475	58.571	1.8E+08	2.5E-04			34.329
0.01500	58.627	1.8E+08	2.6E-04			34.877
0.01525	58.681	1.8E+08	2.6E-04			35.426
0.01550	58.733	1.8E+08	2.6E-04			35.975
0.01575	58.783	1.8E+08	2.7E-04			36.524
0.01600	58.832	1.8E+08	2.7E-04			37.073
0.01625	58.878	1.8E+08	2.8E-04			37.622
0.01650	58.924	1.8E+08	2.8E-04			38.171
0.01675	58.967	1.8E+08	2.8E-04			38.721
0.01700	59.009	1.8E+08	2.9E-04			39.271
0.01725	59.050	1.8E+08	2.9E-04			39.821
0.01750	59.089	1.8E+08	3.0E-04			40.371
0.01775	59.127	1.8E+08	3.0E-04			40.922
0.01800	59.164	1.8E+08	3.0E-04			41.472
0.01825	59.199	1.8E+08	3.1E-04			42.023
0.01850	59.234	1.82E+08	3.1E-04			42.574
0.01875	58.857	1.82E+08	3.19E-04			43.426
0.01900	58.495	1.80E+08	3.25E-04			44.277
0.01925	58.146	1.79E+08	3.31E-04			45.129
0.01950	57.811	1.78E+08	3.37E-04			45.980
0.01975	57.487	1.76E+08	3.44E-04			46.832
0.02000	57.175	1.75E+08	3.50E-04			47.683
0.02025	56.874	1.73E+08	3.56E-04			48.535
0.02050	56.584	1.72E+08	3.62E-04			49.386
0.02075	56.303	1.70E+08	3.69E-04			50.238
0.02100	56.032	1.67E+08	3.75E-04			51.089
0.02125	55.769	1.65E+08	3.81E-04			51.941
0.02150	55.515	1.61E+08	3.87E-04			52.792
0.02175	55.269	1.57E+08	3.94E-04			53.644
0.02200	55.031	1.51E+08	4.00E-04			54.495
0.02225	54.800	1.46E+08	4.06E-04			55.347

Dengan cara yang sama seperti model uji ($f_y = 512,392$ Mpa), ditampilkan juga tabel hasil perhitungan momen kurvatur dari random pertama untuk model uji (f_y dengan nilai mean $f_y = 270$ Mpa). Hal ini dimaksudkan untuk membandingkan nilai kurvatur daktiliti dari kedua model uji dengan mutu baja yang berbeda.

Tabel 4.13 Momen Kurvatur $f'_c = 20$ MPa, D16 $f_y = 275$ MPa Mutu Normal

ec	Kd	Mn	ϕ	Myield	Kurvyield	$\mu\phi$
0.00025	74.612	8.70E+07	3.35E-06	62663750	9.52E-06	0.905
0.00050	83.841	1.01E+08	5.96E-06			1.539
0.00075	80.814	1.01E+08	9.28E-06			2.395
0.00100	75.984	1.01E+08	1.32E-05			3.396
0.00125	71.990	1.01E+08	1.74E-05			4.481
0.00150	69.045	1.02E+08	2.17E-05			5.606
0.00175	66.909	1.02E+08	2.62E-05			6.749
0.00200	65.351	1.03E+08	3.06E-05			7.898
0.00225	64.202	1.03E+08	3.50E-05			9.044
0.00250	63.346	1.04E+08	3.95E-05			10.184
0.00275	62.705	1.04E+08	4.39E-05			11.317
0.00300	62.294	1.05E+08	4.82E-05			12.428
0.00325	62.272	1.07E+08	5.22E-05			13.468
0.00350	62.286	1.10E+08	5.62E-05			14.501
0.00375	62.324	1.12E+08	6.02E-05			15.527
0.00400	62.383	1.14E+08	6.41E-05			16.547
0.00425	62.456	1.16E+08	6.80E-05			17.560
0.00450	62.539	1.17E+08	7.20E-05			18.568
0.00475	62.630	1.19E+08	7.58E-05			19.571
0.00500	62.728	1.21E+08	7.97E-05			20.570
0.00525	62.827	1.22E+08	8.36E-05			21.564
0.00550	62.930	1.24E+08	8.74E-05			22.554
0.00575	63.034	1.25E+08	9.12E-05			23.540
0.00600	63.138	1.27E+08	9.50E-05			24.523
0.00625	63.242	1.28E+08	9.88E-05			25.503
0.00650	63.345	1.29E+08	1.03E-04			26.480
0.00675	63.448	1.30E+08	1.06E-04			27.454
0.00700	63.548	1.31E+08	1.10E-04			28.426
0.00725	63.647	1.32E+08	1.14E-04			29.395
0.00750	63.745	1.33E+08	1.18E-04			30.362
0.00775	68.840	1.34E+08	1.21E-04			31.327
0.00800	63.933	1.35E+08	1.25E-04			32.291
0.00825	64.024	1.36E+08	1.29E-04			33.253
0.00850	64.113	1.37E+08	1.33E-04			34.213
0.00875	64.200	1.38E+08	1.36E-04			35.171
0.00900	64.285	1.38E+08	1.40E-04			36.128
0.00925	64.368	1.39E+08	1.44E-04			37.084
0.00950	64.448	1.40E+08	1.47E-04			38.039
0.00975	64.527	1.40E+08	1.51E-04			38.992
0.01000	64.604	1.41E+08	1.55E-04			39.944
0.01025	64.679	1.42E+08	1.58E-04			40.896
0.01050	64.752	1.42E+08	1.62E-04			41.846
0.01075	64.822	1.43E+08	1.66E-04			42.795
0.01100	64.891	1.43E+08	1.70E-04			43.744
0.01125	64.959	1.44E+08	1.73E-04			44.692
0.01150	65.025	1.44E+08	1.77E-04			45.639
0.01175	65.089	1.45E+08	1.81E-04			46.585
0.01200	65.152	1.45E+08	1.84E-04			47.530

Tabel 4.13 Momen Kurvatur $f'_c = 20$ MPa, D16 $f_y = 275$ MPa Mutu Normal (Lanjutan)

ec	Kd	Mn	ϕ	Myield	Kurvyield	$\mu\phi$
0.01225	65.213	1.45E+08	1.88E-04			48.475
0.01250	65.273	1.46E+08	1.92E-04			49.418
0.01275	65.332	1.46E+08	1.95E-04			50.362
0.01300	65.389	1.46E+08	1.99E-04			51.304
0.01325	65.444	1.47E+08	2.02E-04			52.247
0.01350	65.498	1.47E+08	2.06E-04			53.188
0.01375	65.551	1.47E+08	2.10E-04			54.130
0.01400	65.603	1.47E+08	2.13E-04			55.070
0.01425	65.654	1.48E+08	2.17E-04			56.010
0.01450	65.704	1.48E+08	2.21E-04			56.949
0.01475	65.753	1.48E+08	2.24E-04			57.888
0.01500	65.801	1.48E+08	2.28E-04			58.826
0.01525	65.848	1.49E+08	2.32E-04			59.764
0.01550	65.894	1.49E+08	2.35E-04			60.701
0.01575	65.939	1.49E+08	2.39E-04			61.638
0.01600	65.984	1.49E+08	2.42E-04			62.574
0.01625	66.027	1.49E+08	2.46E-04			63.510
0.01650	66.070	1.49E+08	2.50E-04			64.445
0.01675	66.113	1.49E+08	2.53E-04			65.379
0.01700	66.156	1.50E+08	2.57E-04			66.313
0.01725	66.198	1.50E+08	2.61E-04			67.245
0.01750	66.240	1.50E+08	2.64E-04			68.176
0.01775	66.282	1.50E+08	2.68E-04			69.106
0.01800	66.323	1.50E+08	2.71E-04			70.036
0.01825	66.364	1.50E+08	2.75E-04			70.964
0.01850	66.405	1.50E+08	2.79E-04			71.892
0.01875	66.446	1.50E+08	2.82E-04			72.819
0.01900	66.487	1.50E+08	2.86E-04			73.745
0.01925	66.527	1.50E+08	2.89E-04			74.670
0.01950	66.566	1.51E+08	2.93E-04			75.560
0.01975	66.606	1.51E+08	2.97E-04			76.519
0.02000	66.645	1.51E+08	3.00E-04			77.442
0.02025	66.684	1.51E+08	3.04E-04			78.364
0.02050	66.722	1.51E+08	3.07E-04			79.286
0.02075	66.761	1.51E+08	3.11E-04			80.207
0.02100	66.798	1.51E+08	3.14E-04			81.127
0.02125	66.836	1.51E+08	3.18E-04			82.047
0.02150	66.873	1.51E+08	3.22E-04			82.966
0.02175	66.910	1.51E+08	3.25E-04			83.884
0.02200	66.947	1.51E+08	3.29E-04			84.802
0.02225	66.983	1.51E+08	3.32E-04			85.719
0.02250	67.019	1.51E+08	3.36E-04			86.636
0.02275	67.055	1.51E+08	3.39E-04			87.552
0.02300	67.090	1.51E+08	3.43E-04			88.467
0.02325	67.125	1.51E+08	3.46E-04			89.383
0.02350	67.159	1.51E+08	3.50E-04			90.297
0.02375	67.194	1.51E+08	3.53E-04			91.211
0.02400	67.227	1.51E+08	3.57E-04			92.125
0.02425	67.261	1.51E+08	3.61E-04			93.038
0.02450	67.294	1.51E+08	3.64E-04			93.951
0.02475	67.327	1.51E+08	3.68E-04			94.863
0.02500	67.360	1.51E+08	3.71E-04			95.775
0.02525	67.393	1.51E+08	3.75E-04			96.686
0.0255	67.425	1.51E+08	3.78E-04			97.597
0.02575	67.456	1.51E+08	3.82E-04			98.507
0.026	67.488	1.51E+08	3.85E-04			99.417
0.02625	67.519	1.51E+08	3.89E-04			100.326
0.0265	67.55	1.51E+08	3.92E-04			101.235

Tabel 4.13 Momen Kurvatur $f'_c = 20$ MPa, D16 $f_y = 275$ MPa Mutu Normal (Lanjutan)

ec	Kd	Mn	ϕ	Myield	Kurvyield	$\mu\phi$
0.02675	67.581	1.51E+08	3.96E-04			102.144
0.027	67.611	1.51E+08	3.99E-04			103.052
0.02725	67.641	1.51E+08	4.03E-04			103.96
0.0275	67.671	1.51E+08	4.06E-04			104.868
0.02775	67.701	1.52E+08	4.10E-04			105.775
0.028	67.73	1.52E+08	4.13E-04			106.682
0.02825	67.759	1.52E+08	4.17E-04			107.588
0.0285	67.788	1.52E+08	4.20E-04			108.494
0.02875	67.817	1.52E+08	4.24E-04			109.4
0.029	67.845	1.52E+08	4.27E-04			110.305
0.02925	67.873	1.52E+08	4.31E-04			111.21
0.0295	67.9	1.52E+08	4.34E-04			112.115
0.0295	67.928	1.52E+08	4.38E-04			113.019
0.03	67.955	1.52E+08	4.41E-04			113.923
0.03025	68.594	1.51E+08	4.41E-04			113.923
0.03050	69.161	1.50E+08	4.41E-04			113.923
0.03075	69.728	1.48E+08	4.41E-04			113.923
0.03100	70.295	1.46E+08	4.41E-04			113.923
0.03125	70.862	1.44E+08	4.41E-04			113.923
0.03150	71.429	1.42E+08	4.41E-04			113.923
0.03175	71.995	1.40E+08	4.41E-04			113.923
0.03200	72.562	1.39E+08	4.41E-04			113.923
0.03225	73.129	1.37E+08	4.41E-04			113.923
0.03250	73.696	1.35E+08	4.41E-04			113.923
0.03275	74.263	1.33E+08	4.41E-04			113.923
0.03300	74.830	1.31E+08	4.41E-04			113.923
0.03325	75.397	1.28E+08	4.41E-04			113.923
0.03350	75.964	1.25E+08	4.41E-04			113.923
0.03375	63.776	1.22E+08	5.29E-04			148.100

Analisa di atas menampilkan salah satu hasil perhitungan analisa momen kurvatur dari hasil perhitungan analisa momen kurvatur dengan nilai random parameter baja dan beton yang berbeda pada model uji .

Tabel 4.12 tersebut hanya hanya sebagai contoh dalam menampilkan hasil perhitungan analisa momen kurvatur untuk satu kali random, namun daerah tekan balok telah dibagi menjadi 2 pias ($n=2$) dan tabel tersebut menampilkan

perhitungan dari nilai $\varepsilon_{ca} = 0,00025$ sampai perhitungan berhenti saat $\varepsilon_s > \varepsilon_{su}$ atau $\varepsilon_c > \varepsilon_{cc}$.

Pada tabel 4.12 terlihat, perhitungan analisa momen kurvatur berhenti saat $\varepsilon_s = 0,172634 \text{ mm/mm} > \varepsilon_{su} = 0,1533 \text{ mm/mm}$.

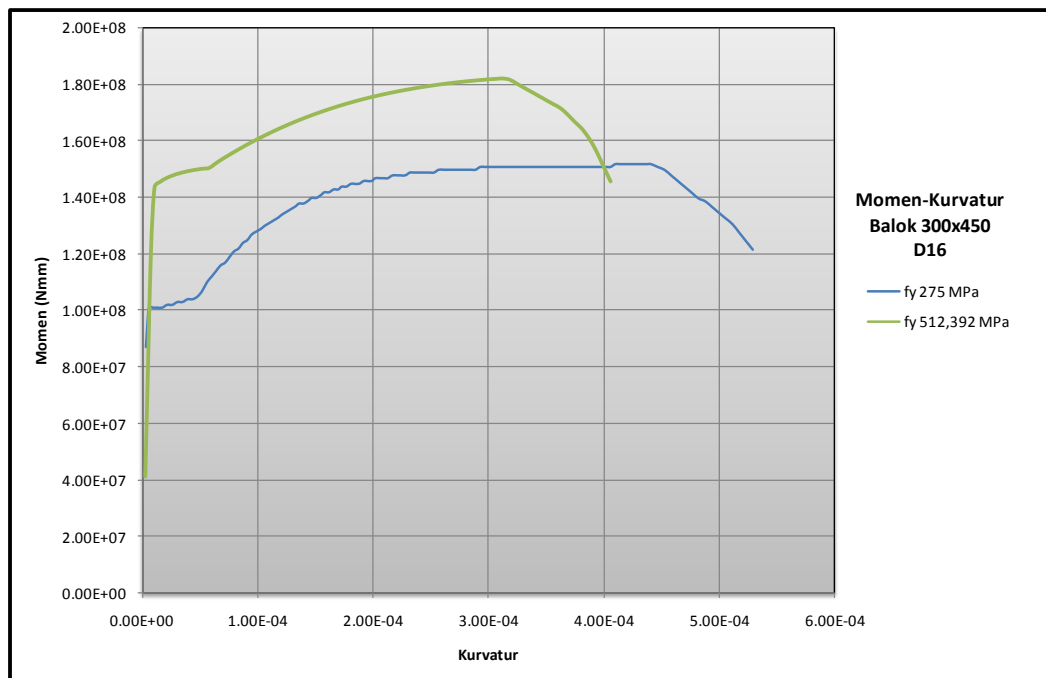
Dari tabel 4.12, dan 4.13 terlihat kurvatur daktiliti yang dapat dicapai oleh model uji ($f_y = 275 \text{ Mpa}$) adalah $\mu_\phi = 113,923$

model uji (f_y dengan nilai mean $f_y = 512,392 \text{ Mpa}$) adalah $\mu_\phi = 51,413$

Hal tersebut memperlihatkan semakin tinggi mutu baja maka nilai kurvatur daktiliti semakin rendah, getas.

Tabel 4.12 memperlihatkan nilai kurvatur daktiliti sesuai persamaan 2.37a. Dalam perhitungan momen kurvatur terlihat, nilai kurvatur daktiliti dapat melebihi nilai 20. Namun dalam penelitian ini, nilai kurvatur daktiliti diatas 20 diabaikan, dianggap bangunan sudah hancur saat mencapai nilai diatas 20.

Hasil perhitungan pada tabel 4.12 dan 4.13 dapat dibuat grafik hubungan momen-kurvatur seperti terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Momen-Kurvatur Model Uji D16

Dari gambar 4.9 terlihat gambar grafik momen kurvatur dari kedua model uji dengan mutu baja yang berbeda. Terlihat semakin tinggi mutu baja maka nilai kurvatur semakin rendah. Namun trend nilai momen untuk baja dengan nilai mean f_y 512,392 Mpa (baja hasil produksi Indonesia), terlihat menyimpang terhadap nilai momen untuk baja dengan f_y 275 Mpa (baja hasil produksi Pacific Steel Ltd, Auckland), hal ini berpengaruh pada nilai kurvatur daktiliti dan overstrength faktor, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada analisa selanjutnya.

Momen ultimit aktual dari model uji ($f_y = 275$ Mpa), dapat dilihat pada tabel 4.13 :

Untuk $\mu_\phi = 10$ maka nilai momen aktual $M = 103801298,25695$ Nmm dan

Untuk $\mu_\phi = 20$ maka nilai momen aktual $M = 127857695,178798$ Nmm

Momen yield aktual M_i dapat dilihat pada tabel 4.14 dan gambar 4.11.

$$M_i = 10066872,294472 \text{ Nmm}$$

Momen ultimit aktual dari model uji ($f_y = 512,392$ Mpa), dapat dilihat pada tabel 4.12 :

Untuk $\mu_\phi = 10$ maka nilai momen aktual $M = 155.509.774,53$ Nmm dan

Untuk $\mu_\phi = 20$ maka nilai momen aktual $M = 169.789.048,34$ Nmm

Momen yield aktual M_i dapat dilihat pada tabel 4.14 dan gambar 4.11.

$$M_i = 144.953.529,69 \text{ Nmm}$$

Setelah itu perhitungan dilanjutkan lagi dengan benda uji berikutnya dan (ϵ_{ca}) dimulai lagi sebesar 0,00025 hingga mencapai $\epsilon_s > \epsilon_{su}$ atau $\epsilon_{ca} > \epsilon_{cc50}$. Sampai dengan benda uji ke-40 untuk D13 dan benda uji ke-40 untuk D16. Kemudian dilanjutkan dengan kondisi total gaya sama dengan nol dengan peningkatan mutu beton 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa.

4.5. Kurvatur Daktiliti

Nilai kurvatur daktiliti sesuai persamaan adalah:

$$\mu_\phi = \phi_m / \phi_y$$

Dimana kurvatur leleh (ϕ_y) sesuai persamaan adalah:

$$\phi_y = \frac{M_i}{M_i'} \phi_y' = 0,00000252$$

Pada perhitungan momen-kurvatur dengan $\epsilon_{ca} = 0,00025$ dihasilkan nilai $M = 41.346.842,69$ Nmm dan nilai $\phi = 0,0000073359$, maka nilai kurvatur daktilitinya:

$$\mu_\phi = \phi_m / \phi_y = \frac{0,0000073359}{0,00000252} = 0,34$$

Dan untuk mencari nilai overstrength faktor dari model uji digunakan persamaan sehingga perlu mencari nilai momen ultimit dengan kondisi ideal.

Untuk mendapatkan nilai kurvatur daktiliti dapat menggunakan persamaan 3.40a.

Dimana nilai ϕ_m didapat dari kurvatur ultimit dari perhitungan tiap increment yaitu saat $\epsilon_s > \epsilon_{su}$ atau $\epsilon_{ca} > \epsilon_{cc50}$ dan nilai ϕ_y didapat dari nilai kurvatur pada saat leleh ($\epsilon_s \geq \epsilon_y$).

Sedangkan untuk mencari nilai overstrength factor menggunakan rumus park paulay atau persamaan 3.44. Dimana M_{max} = Momen lentur maksimum aktual atau kapasitas lentur maksimum aktual.

M_u = Kapasitas momen ultimit ideal dengan asumsi-asumsi:

1. Model tegangan regangan baja tulangan yang digunakan adalah bilinear
2. Regangan tekan beton pada serat terluar adalah 0,003
3. Diagram tegangan tekan beton ekuivalen dengan bentuk persegi (block stress) yang tegangan rata-ratanya sebesar $0,85 f_c$ dan tinggi block stress = a

M_{max} adalah Momen max yang didapat dari analisa momen kurvatur dengan menggunakan model tegangan regangan baja tulangan dari Mander (menggunakan 6 parameter: f_y , f_{su} , E_s , E_{sh} , ϵ_{sh} dan ϵ_{su}) dan model tegangan regangan beton Kappos-konstantinidis.

Sedangkan M_u adalah kapasitas momen ultimit ideal, contoh perhitungan M_u untuk model uji D16 adalah sebagai berikut.

Dengan menggunakan bantuan macros excel didapat nilai garis netral untuk kd sebesar 100,181 mm

Regangan tegangan baja saat $Kd = 100,181$

Regangan baja dibagian atas penampang (ε_{s1})

$$\varepsilon_{s1} = \frac{kd - d_1}{kd} x \varepsilon_c \text{ (nilai } d_1 \text{ ada pada perhitungan di atas sebelumnya)}$$

$$\varepsilon_{s1} = 0,00059 \text{ mm/mm sehingga}$$

$$f_{s1} = Es \cdot \varepsilon_{s1} = 118,5974 \leq f_y \text{ maka gunakan } f_{s1}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1} = -95381,682$$

Regangan baja dibagian bawah penampang (ε_{s2})

$$\varepsilon_{s2} = \frac{kd - d_2}{kd} x \varepsilon_c \text{ (nilai } d_2 \text{ ada pada perhitungan di atas sebelumnya)}$$

$$\varepsilon_{s2} = -0,01329 \text{ mm/mm}$$

$$f_{s2} = Es \cdot \varepsilon_{s2} = 507,7999 \geq f_y \text{ maka gunakan } f_y \text{ maka } f_{s2} = 490,516$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2} = -408396$$

Tegangan beton

$$F = 0,85 f_c' b x 0,85 kd = 313014,67$$

$$Total.Gaya = F_c + F_{s1} + F_{s2} = 0N$$

$$M_u = 144.953.529,6 \text{ Nmm}$$

4.6. Overstrength faktor

Sehingga overstrength factor maksimum dapat dicari dengan cara

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_u} = \frac{211.724.878,8}{144.953.529,6} = 1,46$$

Contoh perhitungan M_{\max} sama seperti contoh perhitungan M untuk momen kurvatur di atas. Hanya saja kondisi nilai M_{\max} didapat dari perhitungan macros excel yaitu saat $\varepsilon_s \setminus \varepsilon_{su}$ atau $\varepsilon_{ca} \setminus \varepsilon_{cc50}$

Variasi model uji yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 4.14 dibawah ini dan hasil perhitungan untuk kurvatur daktiliti dan overstrength factor D13 dan D16 dapat dilihat pada Tabel 4.14 dibawah ini.

Pada Tabel 4.14 dapat dilihat nilai kurvatur daktiliti dan overstrength factor D13 dan D16. Dengan variasi mutu beton dengan jarak sengkang 100 mm dan mutu sengkang 300 MPa. Dimensi balok persegi digunakan ukuran 300 x 450 mm. Dan juga variasi nilai rasio tulangan (ρ).

Tabel 4.14 Variasi Model Benda Uji Dengan $f'_c=25$ MPa

Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	$As=pbd$ (mm ²)	$As'=p'bd$ (mm ²)	ρ'/ρ	Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	$As=pbd$ (mm ²)	$As'=p'bd$ (mm ²)	ρ'/ρ
A1-1	D13	25	0.0045	0.0045	530.929	530.929	1.000	B1-1	D16	25	0.0068	0.0068	804.248	804.248	1.000
A1-2			0.0045	0.0034	530.929	398.197	0.750	B1-2			0.0068	0.0051	804.248	603.186	0.750
A1-3			0.0045	0.0022	530.929	265.465	0.500	B1-3			0.0068	0.0034	804.248	402.124	0.500
A1-4			0.0045	0.0011	530.929	132.732	0.250	B1-4			0.0068	0.0017	804.248	201.062	0.250
A1-5			0.0045	0.0000	530.929	0.000	0.000	B1-5			0.0068	0.0000	804.248	0.000	0.000
A2-1	D13	25	0.0033	0.0033	530.929	530.929	1.000	B2-1	D16	25	0.0049	0.0049	804.248	804.248	1.000
A2-2			0.0033	0.0024	530.929	398.197	0.750	B2-2			0.0049	0.0037	804.248	603.186	0.750
A2-3			0.0033	0.0016	530.929	265.465	0.500	B2-3			0.0049	0.0025	804.248	402.124	0.500
A2-4			0.0033	0.0008	530.929	132.732	0.250	B2-4			0.0049	0.0012	804.248	201.062	0.250
A2-5			0.0033	0.0000	530.929	0.000	0.000	B2-5			0.0049	0.0000	804.248	0.000	0.000
A3-1	D13	25	0.0024	0.0024	530.929	530.929	1.000	B3-1	D16	25	0.0037	0.0037	804.248	804.248	1.000
A3-2			0.0024	0.0018	530.929	398.197	0.750	B3-2			0.0037	0.0028	804.248	603.186	0.750
A3-3			0.0024	0.0012	530.929	265.465	0.500	B3-3			0.0037	0.0019	804.248	402.124	0.500
A3-4			0.0024	0.0006	530.929	132.732	0.250	B3-4			0.0037	0.0009	804.248	201.062	0.250
A3-5			0.0024	0.0000	530.929	0.000	0.000	B3-5			0.0037	0.0000	804.248	0.000	0.000

Tabel 4.15 Variasi Model Benda Uji Dengan $f'_c=30$ MPa

Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	$As=pbd$ (mm ²)	$As'=p'bd$ (mm ²)	ρ'/ρ	Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	$As=pbd$ (mm ²)	$As'=p'bd$ (mm ²)	ρ'/ρ
C1-1	D13	30	0.0045	0.0045	530.929	530.929	1.000	D1-1	D16	30	0.0068	0.0068	804.248	804.248	1.000
C1-2			0.0045	0.0034	530.929	398.197	0.750	D1-2			0.0068	0.0051	804.248	603.186	0.750
C1-3			0.0045	0.0022	530.929	265.465	0.500	D1-3			0.0068	0.0034	804.248	402.124	0.500
C1-4			0.0045	0.0011	530.929	132.732	0.250	D1-4			0.0068	0.0017	804.248	201.062	0.250
C1-5			0.0045	0.0000	530.929	0.000	0.000	D1-5			0.0068	0.0000	804.248	0.000	0.000
C2-1	D13	30	0.0033	0.0033	530.929	530.929	1.000	D2-1	D16	30	0.0049	0.0049	804.248	804.248	1.000
C2-2			0.0033	0.0024	530.929	398.197	0.750	D2-2			0.0049	0.0037	804.248	603.186	0.750
C2-3			0.0033	0.0016	530.929	265.465	0.500	D2-3			0.0049	0.0025	804.248	402.124	0.500
C2-4			0.0033	0.0008	530.929	132.732	0.250	D2-4			0.0049	0.0012	804.248	201.062	0.250
C2-5			0.0033	0.0000	530.929	0.000	0.000	D2-5			0.0049	0.0000	804.248	0.000	0.000
C3-1	D13	30	0.0024	0.0024	530.929	530.929	1.000	D3-1	D16	30	0.0037	0.0037	804.248	804.248	1.000
C3-2			0.0024	0.0018	530.929	398.197	0.750	D3-2			0.0037	0.0028	804.248	603.186	0.750
C3-3			0.0024	0.0012	530.929	265.465	0.500	D3-3			0.0037	0.0019	804.248	402.124	0.500
C3-4			0.0024	0.0006	530.929	132.732	0.250	D3-4			0.0037	0.0009	804.248	201.062	0.250
C3-5			0.0024	0.0000	530.929	0.000	0.000	D3-5			0.0037	0.0000	804.248	0.000	0.000

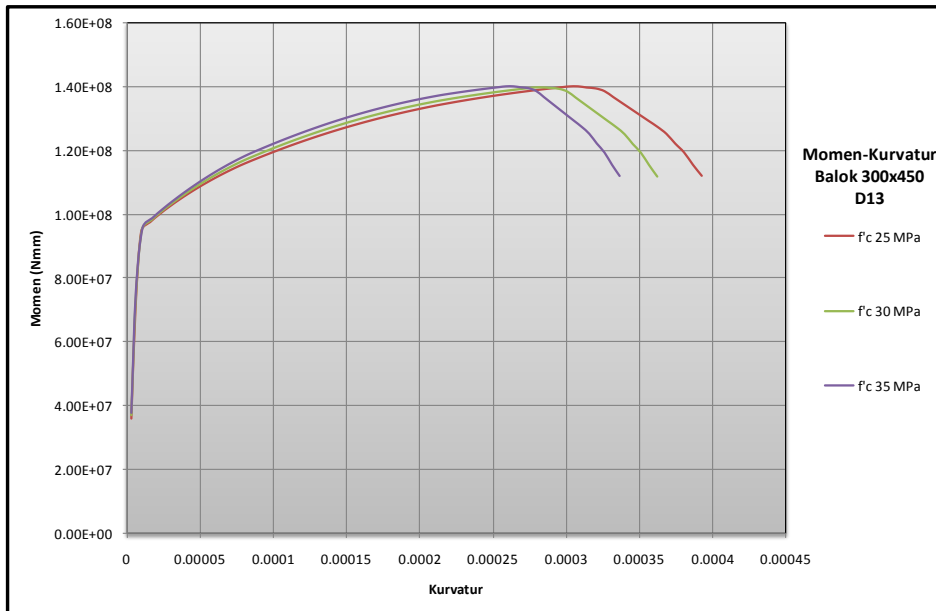
Tabel 4.16 Variasi Model Benda Uji Dengan $f'_c=35$ MPa

Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	$A_s=\rho b d$ (mm ²)	$A_s'=\rho' b d$ (mm ²)	ρ'/ρ	Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	$A_s=\rho b d$ (mm ²)	$A_s'=\rho' b d$ (mm ²)	ρ'/ρ
E1-1	D13	35	0.0045	0.0045	530.929	530.929	1.000	F1-1	D16	35	0.0068	0.0068	804.248	804.248	1.000
E1-2			0.0045	0.0034	530.929	398.197	0.750	F1-2			0.0068	0.0051	804.248	603.186	0.750
E1-3			0.0045	0.0022	530.929	265.465	0.500	F1-3			0.0068	0.0034	804.248	402.124	0.500
E1-4			0.0045	0.0011	530.929	132.732	0.250	F1-4			0.0068	0.0017	804.248	201.062	0.250
E1-5			0.0045	0.0000	530.929	0.000	0.000	F1-5			0.0068	0.0000	804.248	0.000	0.000
E2-1	D13	35	0.0033	0.0033	530.929	530.929	1.000	F2-1	D16	35	0.0049	0.0049	804.248	804.248	1.000
E2-2			0.0033	0.0024	530.929	398.197	0.750	F2-2			0.0049	0.0037	804.248	603.186	0.750
E2-3			0.0033	0.0016	530.929	265.465	0.500	F2-3			0.0049	0.0025	804.248	402.124	0.500
E2-4			0.0033	0.0008	530.929	132.732	0.250	F2-4			0.0049	0.0012	804.248	201.062	0.250
E2-5			0.0033	0.0000	530.929	0.000	0.000	F2-5			0.0049	0.0000	804.248	0.000	0.000
E3-1	D13	35	0.0024	0.0024	530.929	530.929	1.000	F3-1	D16	35	0.0037	0.0037	804.248	804.248	1.000
E3-2			0.0024	0.0018	530.929	398.197	0.750	F3-2			0.0037	0.0028	804.248	603.186	0.750
E3-3			0.0024	0.0012	530.929	265.465	0.500	F3-3			0.0037	0.0019	804.248	402.124	0.500
E3-4			0.0024	0.0006	530.929	132.732	0.250	F3-4			0.0037	0.0009	804.248	201.062	0.250
E3-5			0.0024	0.0000	530.929	0.000	0.000	F3-5			0.0037	0.0000	804.248	0.000	0.000

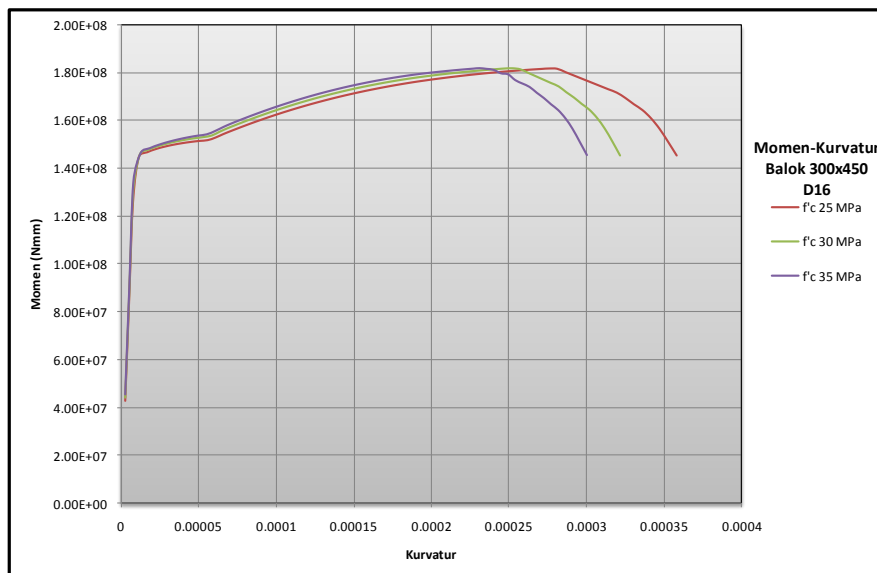
4.7. Analisa Pengaruh Penambahan Tulangan Tekan Terhadap Momen Kurvatur

Kurva hubungan momen – kurvatur penampang yang diperoleh dari hasil keluaran program untuk masing-masing tipe penampang balok beton bertulang, dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.12.

Bentuk kurva hubungan momen – kurvatur yang diperoleh, secara umum terbagi atas 4 fase, yaitu : (1) fase sebelum retak, (2) fase antara retak pertama dengan leleh pertama dan (3) fase antara leleh pertama dengan runtuh (4) fase saat runtuh.



Gambar 4.10 Hubungan Momen-Kurvatur Daktiliti D13



Gambar 4.11 Hubungan Momen-Kurvatur Daktiliti D16

Pada kedua fase pertama, kenaikan nilai kurvatur penampang (ϕ) selalu diiringi dengan kenaikan nilai momen (M). Pada fase ketiga, kenaikan nilai kurvatur penampang tidak selalu diiringi dengan kenaikan momen (momen yang dihasilkan cenderung konstan). Pada fase ketiga, terdapat dua perilaku kenaikan momen yang berbeda pada penampang balok. Yang pertama adalah nilai momen yang selalu naik sampai penampang mengalami keruntuhan dan yang kedua adalah nilai momen yang naik terlebih dahulu kemudian turun sampai penampang mengalami keruntuhan.

4.8. Analisa Pengaruh Penambahan Tulangan Tekan Terhadap Daktilitas Kurvatur

Daktilitas kurvatur merupakan perbandingan antara nilai kurvatur penampang pada kondisi ultimit dengan nilai kurvatur penampang pada kondisi leleh. Nilai-nilai daktilitas kurvatur penampang dapat dilihat pada Tabel 4.14. Sedangkan kurva hubungan daktilitas kurvatur dengan rasio luas tulangan baja, untuk masing-masing tipe balok dan untuk masing-masing rasio tulangan tekan dengan tulangan tarik, ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.17 Daktilitas Kurvatur Penampang Balok Beton Bertulang $f'_c = 25$ MPa

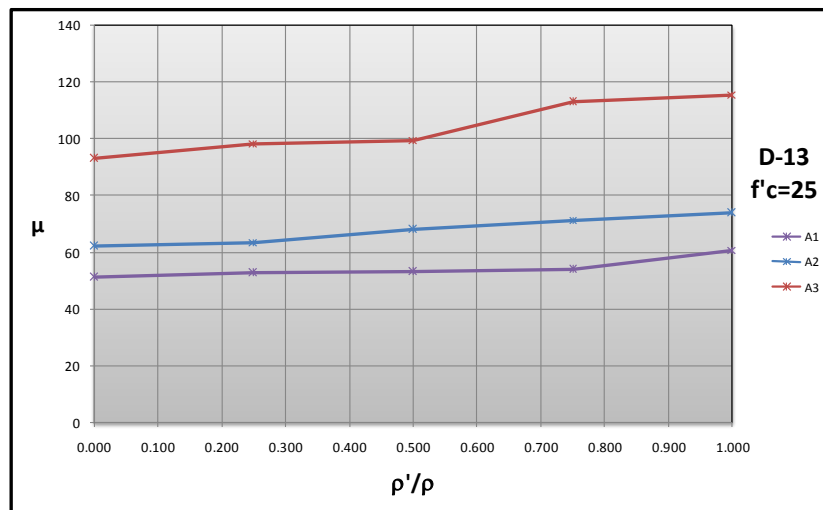
Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	ρ'/ρ	Daktilitas Kurvatur	Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	ρ'/ρ	Daktilitas Kurvatur
A1-1	D13	25	0.0045	0.0045	1.000	60.752	B1-1	D16	25	0.0068	0.0068	1.000	36.100
A1-2			0.0045	0.0034	0.750	53.861	B1-2			0.0068	0.0051	0.750	35.283
A1-3			0.0045	0.0022	0.500	53.063	B1-3			0.0068	0.0034	0.500	31.009
A1-4			0.0045	0.0011	0.250	52.677	B1-4			0.0068	0.0017	0.250	30.801
A1-5			0.0045	0.0000	0.000	51.329	B1-5			0.0068	0.0000	0.000	29.878
A2-1	D13	25	0.0033	0.0033	1.000	73.817	B2-1	D16	25	0.0049	0.0049	1.000	48.909
A2-2			0.0033	0.0024	0.750	71.371	B2-2			0.0049	0.0037	0.750	48.844
A2-3			0.0033	0.0016	0.500	68.142	B2-3			0.0049	0.0025	0.500	47.786
A2-4			0.0033	0.0008	0.250	63.604	B2-4			0.0049	0.0012	0.250	44.387
A2-5			0.0033	0.0000	0.000	62.211	B2-5			0.0049	0.0000	0.000	42.624
A3-1	D13	25	0.0024	0.0024	1.000	115.555	B3-1	D16	25	0.0037	0.0037	1.000	58.245
A3-2			0.0024	0.0018	0.750	113.153	B3-2			0.0037	0.0028	0.750	54.582
A3-3			0.0024	0.0012	0.500	99.493	B3-3			0.0037	0.0019	0.500	47.799
A3-4			0.0024	0.0006	0.250	98.313	B3-4			0.0037	0.0009	0.250	47.501
A3-5			0.0024	0.0000	0.000	93.007	B3-5			0.0037	0.0000	0.000	45.240

Tabel 4.18 Daktilitas Kurvatur Penampang Balok Beton Bertulang $f'_c = 30$ MPa

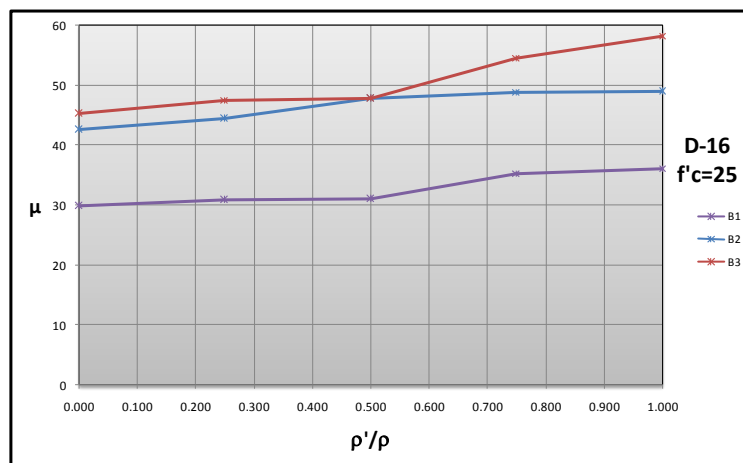
Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	ρ'/ρ	Daktilitas Kurvatur	Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	ρ'/ρ	Daktilitas Kurvatur
C1-1	D13	30	0.0045	0.0045	1.000	59.619	D1-1	D16	30	0.0068	0.0068	1.000	36.100
C1-2			0.0045	0.0034	0.750	51.255	D1-2			0.0068	0.0051	0.750	35.283
C1-3			0.0045	0.0022	0.500	47.329	D1-3			0.0068	0.0034	0.500	31.009
C1-4			0.0045	0.0011	0.250	46.580	D1-4			0.0068	0.0017	0.250	30.801
C1-5			0.0045	0.0000	0.000	44.708	D1-5			0.0068	0.0000	0.000	29.878
C2-1	D13	30	0.0033	0.0033	1.000	68.419	D2-1	D16	30	0.0049	0.0049	1.000	47.955
C2-2			0.0033	0.0024	0.750	66.261	D2-2			0.0049	0.0037	0.750	44.614
C2-3			0.0033	0.0016	0.500	65.766	D2-3			0.0049	0.0025	0.500	44.122
C2-4			0.0033	0.0008	0.250	61.564	D2-4			0.0049	0.0012	0.250	41.718
C2-5			0.0033	0.0000	0.000	59.626	D2-5			0.0049	0.0000	0.000	40.015
C3-1	D13	30	0.0024	0.0024	1.000	114.069	D3-1	D16	30	0.0037	0.0037	1.000	53.740
C3-2			0.0024	0.0018	0.750	110.058	D3-2			0.0037	0.0028	0.750	52.850
C3-3			0.0024	0.0012	0.500	97.473	D3-3			0.0037	0.0019	0.500	46.684
C3-4			0.0024	0.0006	0.250	93.068	D3-4			0.0037	0.0009	0.250	45.200
C3-5			0.0024	0.0000	0.000	88.965	D3-5			0.0037	0.0000	0.000	39.654

Tabel 4.19 Daktilitas Kurvatur Penampang Balok Beton Bertulang $f'_c = 35$ MPa

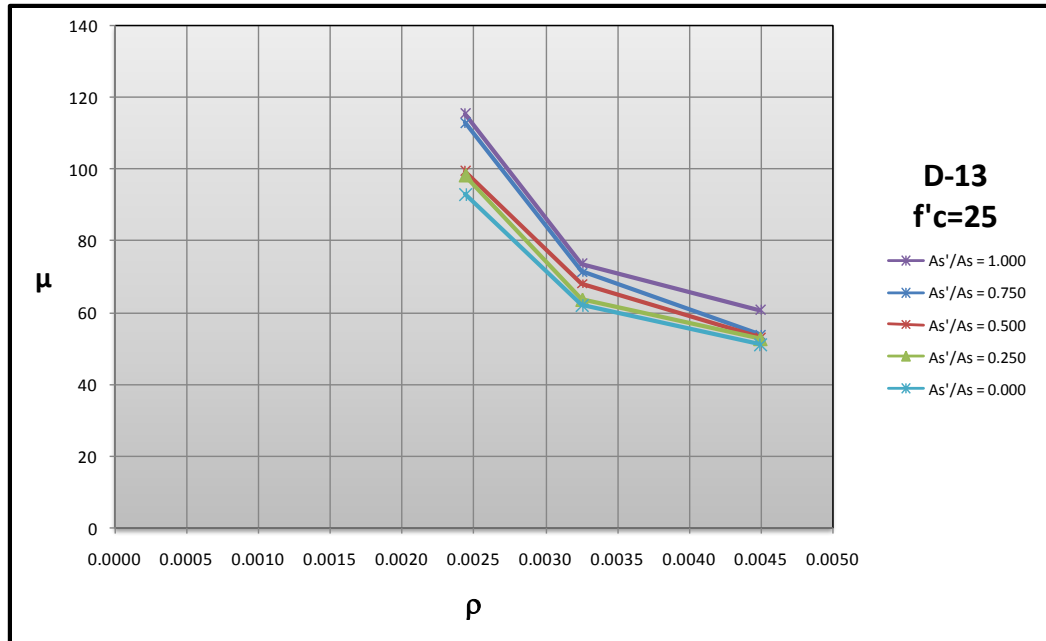
Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	ρ'/ρ	Daktilitas Kurvatur	Tipe Balok	Tulangan	f'_c	ρ	ρ'	ρ'/ρ	Daktilitas Kurvatur
E1-1	D13	35	0.0045	0.0045	1.000	58.940	F1-1	D16	35	0.0068	0.0068	1.000	29.574
E1-2			0.0045	0.0034	0.750	50.606	F1-2			0.0068	0.0051	0.750	28.957
E1-3			0.0045	0.0022	0.500	44.479	F1-3			0.0068	0.0034	0.500	28.129
E1-4			0.0045	0.0011	0.250	44.445	F1-4			0.0068	0.0017	0.250	27.163
E1-5			0.0045	0.0000	0.000	43.095	F1-5			0.0068	0.0000	0.000	26.414
E2-1	D13	35	0.0033	0.0033	1.000	66.873	F2-1	D16	35	0.0049	0.0049	1.000	45.516
E2-2			0.0033	0.0024	0.750	65.418	F2-2			0.0049	0.0037	0.750	41.519
E2-3			0.0033	0.0016	0.500	64.430	F2-3			0.0049	0.0025	0.500	41.241
E2-4			0.0033	0.0008	0.250	59.588	F2-4			0.0049	0.0012	0.250	40.726
E2-5			0.0033	0.0000	0.000	57.588	F2-5			0.0049	0.0000	0.000	38.340
E3-1	D13	35	0.0024	0.0024	1.000	112.144	F3-1	D16	35	0.0037	0.0037	1.000	49.134
E3-2			0.0024	0.0018	0.750	105.669	F3-2			0.0037	0.0028	0.750	49.318
E2-3			0.0024	0.0012	0.500	95.350	F2-3			0.0037	0.0019	0.500	42.826
E3-4			0.0024	0.0006	0.250	91.053	F3-4			0.0037	0.0009	0.250	39.826
E3-5			0.0024	0.0000	0.000	85.419	F3-5			0.0037	0.0000	0.000	36.022



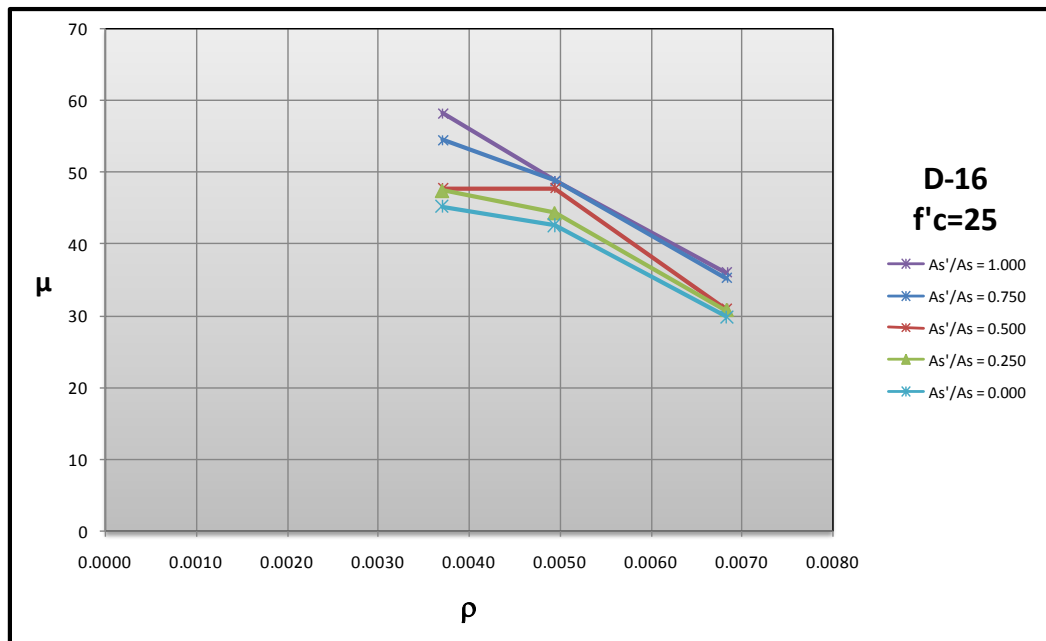
Gambar 4.12 Daktilitas Kurvatur – Rasio Luas Tulangan Baja Berdasarkan Tipe Balok



Gambar 4.13 Daktilitas Kurvatur – Rasio Luas Tulangan Baja Berdasarkan Tipe Balok



Gambar 4.14 Daktilitas Kurvatur – Rasio Luas Tulangan Baja



Gambar 4.15 Daktilitas Kurvatur – Rasio Luas Tulangan Baja

Penambahan tulangan tekan pada balok, tidak terlalu banyak memberikan sumbangan kekuatan pada balok, akan tetapi sangat membantu dalam meningkatkan daktilitas kurvatur penampang. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan kekuatan pada daerah tekan penampang balok,

mengakibatkan tulangan baja pada daerah tarik akan dipaksa untuk meleleh lebih cepat.

Untuk penampang balok yang mempunyai luas tulangan tarik lebih sedikit, cenderung mempunyai nilai daktilitas kurvatur yang besar, akan tetapi kekuatannya lebih rendah. Hal ini disebabkan karena adanya perlemahan pada daerah tarik penampang, yang mengakibatkan tulangan baja pada daerah tarik dipaksa untuk meleleh lebih cepat.

Dibawah ini kami tabelkan pengaruh rasio luas tulangan terhadap Daktilitas Kurvatur dan overstrength factor.

Tabel 4.20 Pengaruh Rasio Tulangan terhadap $\mu\phi$ dan overstrength factor

Diameter Baja	f'_c	b x h	jarak sengkang	mutu sengkang	ρ'/ρ	$\mu\phi$ mean	λ_{max} mean
D13	25 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	115.555	1.258
					0.75	113.153	1.257
					0.50	99.493	1.242
					0.25	98.313	1.236
					0.00	93.007	1.239
	30 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	114.069	1.249
					0.75	110.058	1.247
					0.50	97.473	1.233
					0.25	93.068	1.239
					0.00	88.965	1.241
	35 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	112.144	1.241
					0.75	105.669	1.240
					0.50	95.350	1.248
					0.25	91.053	1.246
					0.00	85.419	1.242
D16	25 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	58.245	1.474
					0.75	54.582	1.464
					0.50	47.799	1.458
					0.25	47.501	1.457
					0.00	45.240	1.456
	30 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	53.740	1.475
					0.75	52.850	1.461
					0.50	46.684	1.454
					0.25	45.200	1.450
					0.00	39.654	1.443
	35 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	49.134	1.473
					0.75	49.318	1.468
					0.50	42.826	1.451
					0.25	39.826	1.448
					0.00	36.022	1.437

Dapat dilihat pada tabel 4.15 untuk Penampang balok yang mempunyai luas tulangan tarik lebih sedikit, cenderung mempunyai nilai daktilitas kurvatur

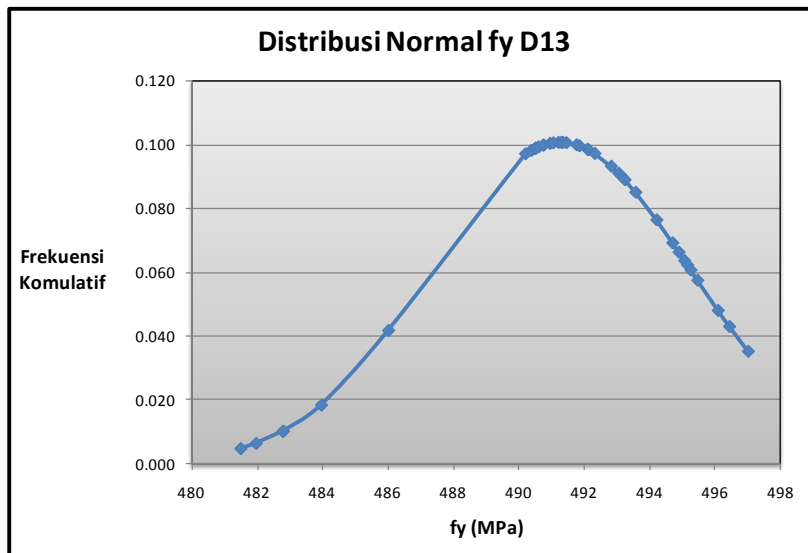
yang besar, akan tetapi kekuatannya lebih rendah. Hal ini disebabkan karena adanya kelemahan pada daerah tarik penampang, yang mengakibatkan tulangan baja pada daerah tarik dipaksa untuk meleleh lebih cepat. Semakin besar rasio tulangan juga mengakibatkan nilai overstrength factor semakin kecil seperti terlihat pada tabel 4.15.

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

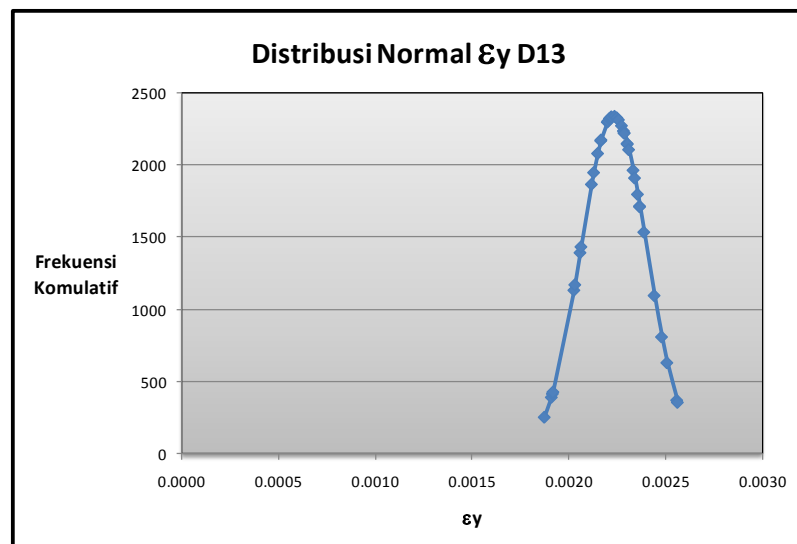
Uji Statistik Baja

Lampiran 1 : Tabel distribusi normal f_y D13

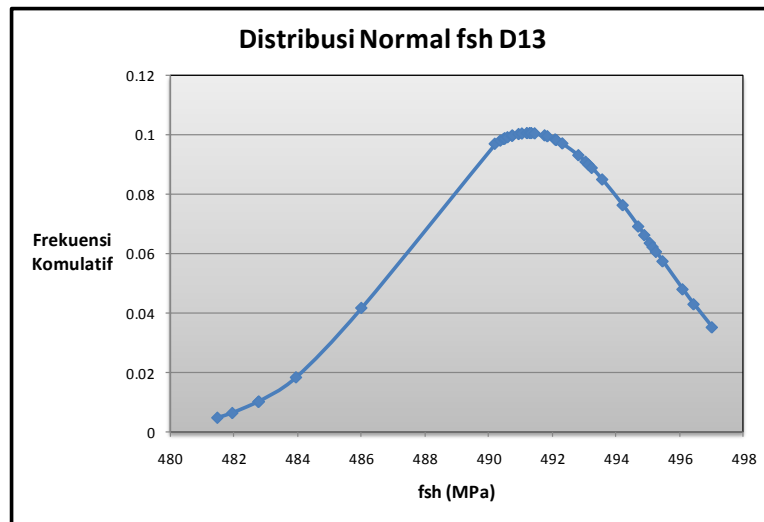
No.	f_y	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	481.4920	491.2720	95.6495	3.9662	0.0048
2	481.9614		86.6877		0.0064
3	482.7786		72.1383		0.0102
4	482.7960		71.8436		0.0103
5	483.9609		53.4529		0.0184
6	486.0125		27.6624		0.0418
7	490.2027		1.1434		0.0970
8	490.3766		0.8018		0.0981
9	490.4809		0.6258		0.0986
10	490.5157		0.5720		0.0988
11	490.5157		0.5720		0.0988
12	490.6027		0.4481		0.0992
13	490.7417		0.2812		0.0997
14	490.7591		0.2631		0.0998
15	490.9504		0.1035		0.1003
16	491.0547		0.0472		0.1005
17	491.2112		0.0037		0.1006
18	491.2981		0.0007		0.1006
19	491.3503		0.0061		0.1006
20	491.4546		0.0333		0.1005
21	491.7676		0.2456		0.0998
22	491.8545		0.3393		0.0995
23	492.0979		0.6821		0.0985
24	492.1327		0.7407		0.0983
25	492.3239		1.1065		0.0971
26	492.8281		2.4215		0.0932
27	493.0542		3.1760		0.0910
28	493.1411		3.4934		0.0900
29	493.2454		3.8943		0.0889
30	493.5758		5.3072		0.0850
31	494.2191		8.6851		0.0763
32	494.7059		11.7914		0.0692
33	494.8972		13.1418		0.0663
34	495.0711		14.4326		0.0636
35	495.1580		15.1007		0.0623
36	495.2623		15.9222		0.0607
37	495.4709		17.6309		0.0574
38	496.0969		23.2789		0.0480
39	496.4446		26.7554		0.0430
40	497.0184		33.0202		0.0352

Lampiran 2 : Gambar distribusi normal f_y D13Lampiran 3 : Tabel distribusi normal ϵ_y D13

No.	ϵ_y	mean	$(x_j - \bar{x})^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	0.0019	0.0022	0.000000128	0.0002	257.9479
2	0.0019		0.000000103		395.9626
3	0.0019		0.000000100		419.9546
4	0.0019		0.000000098		432.4284
5	0.0020		0.000000042		1137.2401
6	0.0020		0.000000040		1175.2121
7	0.0021		0.000000030		1397.2678
8	0.0021		0.000000028		1438.0354
9	0.0021		0.000000013		1870.5872
10	0.0021		0.000000011		1952.0269
11	0.0021		0.000000007		2084.3515
12	0.0022		0.000000004		2172.4331
13	0.0022		0.000000004		2177.9729
14	0.0022		0.000000001		2301.3949
15	0.0022		0.000000001		2309.0447
16	0.0022		0.000000000		2326.0460
17	0.0022		0.000000000		2327.3286
18	0.0022		0.000000000		2335.5874
19	0.0022		0.000000000		2337.9043
20	0.0022		0.000000000		2341.7888
21	0.0022		0.000000000		2331.4164
22	0.0023		0.000000001		2317.3975
23	0.0023		0.000000002		2276.6222
24	0.0023		0.000000003		2240.5513
25	0.0023		0.000000003		2227.4554
26	0.0023		0.000000003		2224.3869
27	0.0023		0.000000005		2153.2538
28	0.0023		0.000000005		2148.6548
29	0.0023		0.000000006		2110.8641
30	0.0023		0.000000010		1968.1785
31	0.0023		0.000000012		1914.3497
32	0.0024		0.000000015		1801.5736
33	0.0024		0.000000018		1719.8377
34	0.0024		0.000000018		1714.9910
35	0.0024		0.000000024		1539.4348
36	0.0024		0.000000044		1100.6578
37	0.0025		0.000000061		813.8857
38	0.0025		0.000000076		635.1906
39	0.0026		0.000000106		375.8101
40	0.0026		0.000000109		360.6623

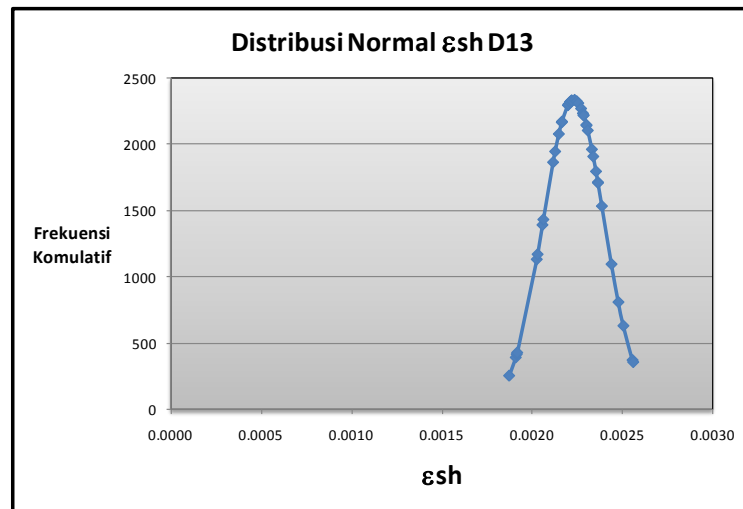
Lampiran 4 : Gambar distribusi normal ε_y D13Lampiran 5 : Tabel distribusi normal f_{sh} D13

No.	fsh	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	481.4920	491.2720	95.6495	3.9662	0.0048
2	481.9614		86.6877		0.0064
3	482.7786		72.1383		0.0102
4	482.7960		71.8436		0.0103
5	483.9609		53.4529		0.0184
6	486.0125		27.6624		0.0418
7	490.2027		1.1434		0.0970
8	490.3766		0.8018		0.0981
9	490.4809		0.6258		0.0986
10	490.5157		0.5720		0.0988
11	490.5157		0.5720		0.0988
12	490.6027		0.4481		0.0992
13	490.7417		0.2812		0.0997
14	490.7591		0.2631		0.0998
15	490.9504		0.1035		0.1003
16	491.0547		0.0472		0.1005
17	491.2112		0.0037		0.1006
18	491.2981		0.0007		0.1006
19	491.3503		0.0061		0.1006
20	491.4546		0.0333		0.1005
21	491.7676		0.2456		0.0998
22	491.8545		0.3393		0.0995
23	492.0979		0.6821		0.0985
24	492.1327		0.7407		0.0983
25	492.3239		1.1065		0.0971
26	492.8281		2.4215		0.0932
27	493.0542		3.1760		0.0910
28	493.1411		3.4934		0.0900
29	493.2454		3.8943		0.0889
30	493.5758		5.3072		0.0850
31	494.2191		8.6851		0.0763
32	494.7059		11.7914		0.0692
33	494.8972		13.1418		0.0663
34	495.0711		14.4326		0.0636
35	495.1580		15.1007		0.0623
36	495.2623		15.9222		0.0607
37	495.4709		17.6309		0.0574
38	496.0969		23.2789		0.0480
39	496.4446		26.7554		0.0430
40	497.0184		33.0202		0.0352

Lampiran 6 : Gambar distribusi normal f_{sh} D13Lampiran 7 : Tabel distribusi normal ϵ_{sh} D13

No.	ϵ_{sh}	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	0.0019	0.0022	0.00000013	0.0002	257.9479
2	0.0019		0.00000010		395.9626
3	0.0019		0.00000010		419.9546
4	0.0019		0.00000010		432.4284
5	0.0020		0.00000004		1137.2401
6	0.0020		0.00000004		1175.2121
7	0.0021		0.00000003		1397.2678
8	0.0021		0.00000003		1438.0354
9	0.0021		0.00000001		1870.5872
10	0.0021		0.00000001		1952.0269
11	0.0021		0.00000001		2084.3515
12	0.0022		0.00000000		2172.4331
13	0.0022		0.00000000		2177.9729
14	0.0022		0.00000000		2301.3949
15	0.0022		0.00000000		2309.0447
16	0.0022		0.00000000		2326.0460
17	0.0022		0.00000000		2327.3286
18	0.0022		0.00000000		2335.5874
19	0.0022		0.00000000		2337.9043
20	0.0022		0.00000000		2341.7888
21	0.0022		0.00000000		2331.4164
22	0.0023		0.00000000		2317.3975
23	0.0023		0.00000000		2276.6222
24	0.0023		0.00000000		2240.5513
25	0.0023		0.00000000		2227.4554
26	0.0023		0.00000000		2224.3869
27	0.0023		0.00000000		2153.2538
28	0.0023		0.00000001		2148.6548
29	0.0023		0.00000001		2110.8641
30	0.0023		0.00000001		1968.1785
31	0.0023		0.00000001		1914.3497
32	0.0024		0.00000002		1801.5736
33	0.0024		0.00000002		1719.8377
34	0.0024		0.00000002		1714.9910
35	0.0024		0.00000002		1539.4348
36	0.0024		0.00000004		1100.6578
37	0.0025		0.00000006		813.8857
38	0.0025		0.00000008		635.1906
39	0.0026		0.00000011		375.8101
40	0.0026		0.00000011		360.6623

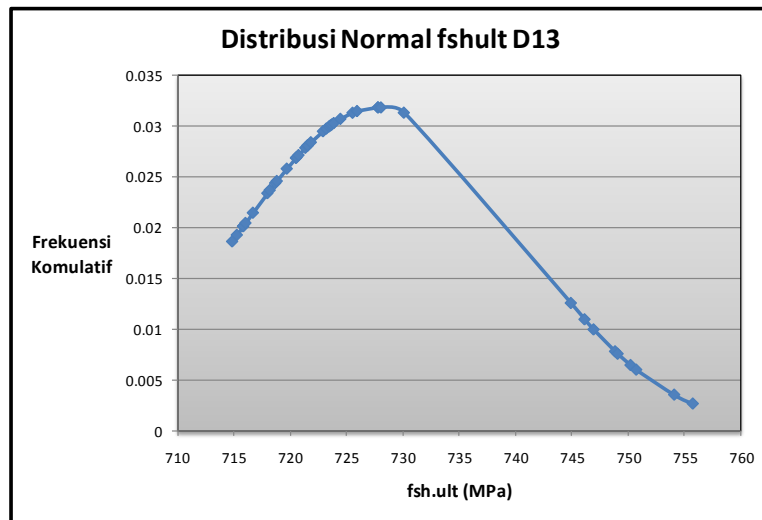
LAMPIRAN



Lampiran 8 : Gambar distribusi normal ε_{sh} D13

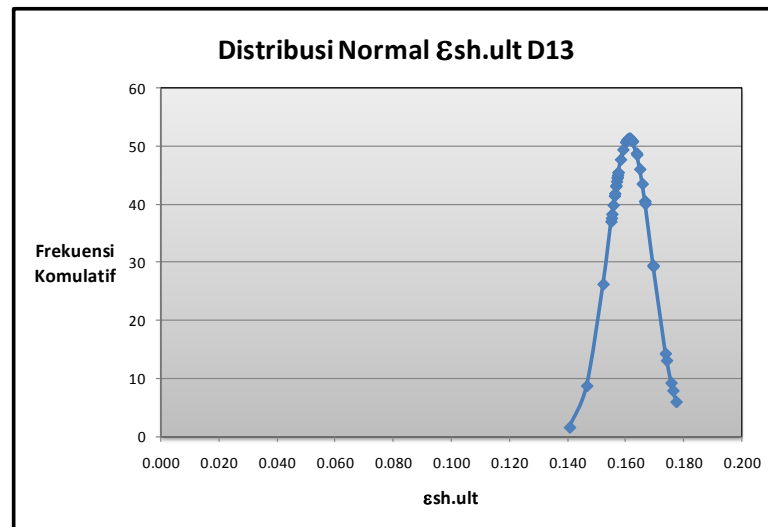
Lampiran 9 : Tabel distribusi normal f_{shu} D13

No.	fsh.ult	mean	(xj - xm)^2	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	714.8750	727.8440	168.1951	12.5330	0.0186
2	715.2919		157.5554		0.0193
3	715.8478		143.9098		0.0201
4	715.8478		143.9098		0.0201
5	716.0562		138.9514		0.0205
6	716.7163		123.8261		0.0215
7	718.0018		96.8696		0.0234
8	718.2102		92.8104		0.0237
9	718.6966		83.6750		0.0244
10	718.8356		81.1520		0.0246
11	719.7214		65.9758		0.0258
12	720.5379		53.3793		0.0269
13	720.5900		52.6209		0.0269
14	720.7637		50.1311		0.0271
15	721.3717		41.8909		0.0279
16	721.5627		39.4542		0.0281
17	721.5801		39.2364		0.0281
18	721.8580		35.8318		0.0284
19	722.9350		24.0979		0.0295
20	723.2303		21.2859		0.0298
21	723.4735		19.1009		0.0300
22	723.5951		18.0528		0.0301
23	723.7167		17.0347		0.0302
24	723.8904		15.6306		0.0303
25	724.4810		11.3096		0.0307
26	725.5580		5.2256		0.0313
27	725.9575		3.5588		0.0315
28	727.8162		0.0008		0.0318
29	727.8162		0.0008		0.0318
30	728.0768		0.0542		0.0318
31	730.1091		5.1308		0.0313
32	744.9264		291.8077		0.0126
33	746.1423		334.8296		0.0110
34	746.9414		364.7092		0.0100
35	748.8522		441.3429		0.0078
36	749.0780		450.8829		0.0076
37	750.2245		500.8850		0.0065
38	750.7282		523.6856		0.0060
39	754.0981		689.2775		0.0035
40	755.7483		778.6514		0.0027

Lampiran 10 : Gambar distribusi normal f_{shu} D13Lampiran 11 : Tabel distribusi normal ϵ_{shu} D13

No.	$\epsilon_{sh.ult}$	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	0.1408	0.1614	0.000423	0.0078	1.5483
2	0.1467		0.000214		8.7068
3	0.1524		0.000081		26.2158
4	0.1551		0.000040		36.9967
5	0.1552		0.000038		37.5789
6	0.1554		0.000035		38.2758
7	0.1558		0.000031		39.8197
8	0.1563		0.000026		41.4181
9	0.1564		0.000025		41.8294
10	0.1568		0.000021		43.0504
11	0.1568		0.000021		43.2068
12	0.1570		0.000019		43.8963
13	0.1572		0.000017		44.4919
14	0.1573		0.000017		44.6056
15	0.1574		0.000016		44.9632
16	0.1575		0.000015		45.4269
17	0.1575		0.000015		45.4617
18	0.1584		0.000009		47.6776
19	0.1592		0.000005		49.3790
20	0.1601		0.000002		50.6677
21	0.1605		0.000001		51.0378
22	0.1610		0.000000		51.2742
23	0.1614		0.000000		51.3400
24	0.1618		0.000000		51.2825
25	0.1624		0.000001		50.8578
26	0.1625		0.000001		50.7911
27	0.1639		0.000006		48.7659
28	0.1640		0.000007		48.5051
29	0.1650		0.000013		46.0145
30	0.1659		0.000020		43.4887
31	0.1667		0.000029		40.5001
32	0.1667		0.000029		40.4596
33	0.1669		0.000030		40.0483
34	0.1696		0.000067		29.4504
35	0.1696		0.000068		29.2604
36	0.1738		0.000155		14.2506
37	0.1742		0.000165		13.0669
38	0.1758		0.000208		9.2115
39	0.1764		0.000226		7.8763
40	0.1775		0.000261		5.9422

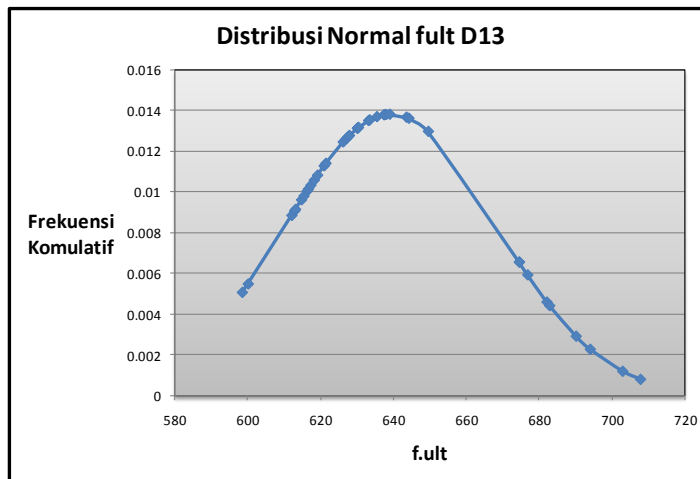
LAMPIRAN



Lampiran 12 : Gambar distribusi normal ϵ_{shu} D13

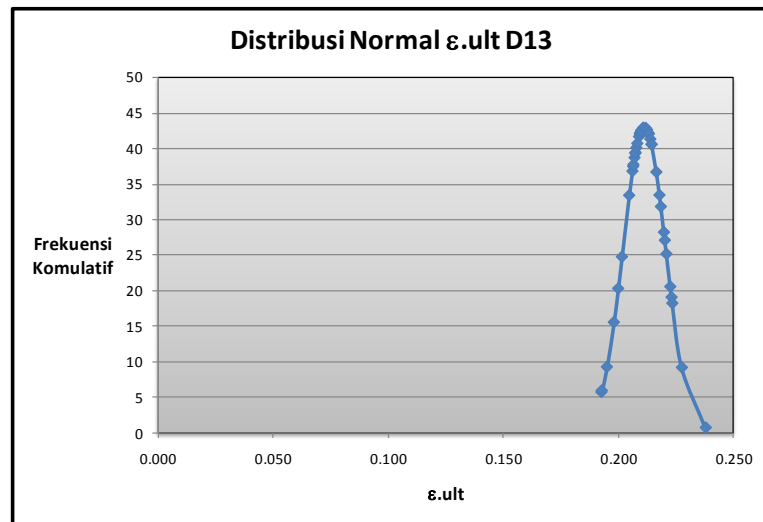
Lampiran 13 : Tabel distribusi normal f_{su} D13

No.	fult	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	598.4043	639.2515	1668.4973	28.9014	0.0051
2	600.0371		1537.7718		0.0055
3	612.0056		742.3429		0.0089
4	612.7351		703.1201		0.0091
5	613.0304		687.5469		0.0091
6	614.6633		604.5819		0.0096
7	615.3233		572.5588		0.0098
8	616.2093		530.9455		0.0100
9	616.5914		513.4820		0.0102
10	617.2341		484.7659		0.0103
11	618.1548		445.0719		0.0106
12	619.0754		407.0755		0.0108
13	620.8646		338.0786		0.0113
14	621.3684		319.8067		0.0114
15	626.0932		173.1420		0.0124
16	626.9444		151.4668		0.0126
17	627.4134		140.1414		0.0127
18	627.8129		130.8416		0.0128
19	630.0016		85.5611		0.0131
20	630.0190		85.2402		0.0131
21	630.2969		80.1854		0.0132
22	633.0762		38.1344		0.0135
23	633.4063		34.1666		0.0135
24	635.3866		14.9380		0.0137
25	637.3495		3.6179		0.0138
26	637.4016		3.4224		0.0138
27	637.9053		1.8123		0.0138
28	638.9128		0.1147		0.0138
29	643.4813		17.8907		0.0137
30	644.1588		24.0807		0.0136
31	649.4916		104.8581		0.0130
32	674.4707		1240.3898		0.0066
33	674.4707		1240.3898		0.0066
34	676.7810		1408.4593		0.0059
35	682.0443		1831.2238		0.0046
36	682.8086		1897.2197		0.0044
37	690.0696		2582.4752		0.0029
38	693.9607		2993.0873		0.0023
39	702.8544		4045.3287		0.0012
40	707.7530		4692.4480		0.0008

Lampiran 14 : Gambar distribusi normal f_{su} D13Lampiran 15 : Tabel distribusi normal ε_{su} D13

No.	ε_{ult}	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	0.1926	0.2113	0.0003	0.0093	5.6776
2	0.1928		0.0003		5.8951
3	0.1950		0.0003		9.2164
4	0.1980		0.0002		15.5041
5	0.1999		0.0001		20.2521
6	0.2015		0.0001		24.7105
7	0.2047		0.0000		33.3612
8	0.2061		0.0000		36.7625
9	0.2064		0.0000		37.4410
10	0.2065		0.0000		37.6756
11	0.2070		0.0000		38.6558
12	0.2074		0.0000		39.2719
13	0.2074		0.0000		39.3853
14	0.2078		0.0000		40.0412
15	0.2082		0.0000		40.6573
16	0.2090		0.0000		41.6144
17	0.2094		0.0000		42.0119
18	0.2094		0.0000		42.0620
19	0.2095		0.0000		42.1133
20	0.2098		0.0000		42.4055
21	0.2100		0.0000		42.5268
22	0.2108		0.0000		42.8705
23	0.2119		0.0000		42.8428
24	0.2125		0.0000		42.5575
25	0.2131		0.0000		42.1078
26	0.2132		0.0000		41.9964
27	0.2139		0.0000		41.2685
28	0.2144		0.0000		40.5412
29	0.2144		0.0000		40.5228
30	0.2165		0.0000		36.6396
31	0.2179		0.0000		33.3952
32	0.2185		0.0001		31.7758
33	0.2198		0.0001		28.1695
34	0.2202		0.0001		27.0367
35	0.2209		0.0001		25.1113
36	0.2226		0.0001		20.5070
37	0.2232		0.0001		19.0208
38	0.2235		0.0001		18.1758
39	0.2276		0.0003		9.1348
40	0.2380		0.0007		0.6828

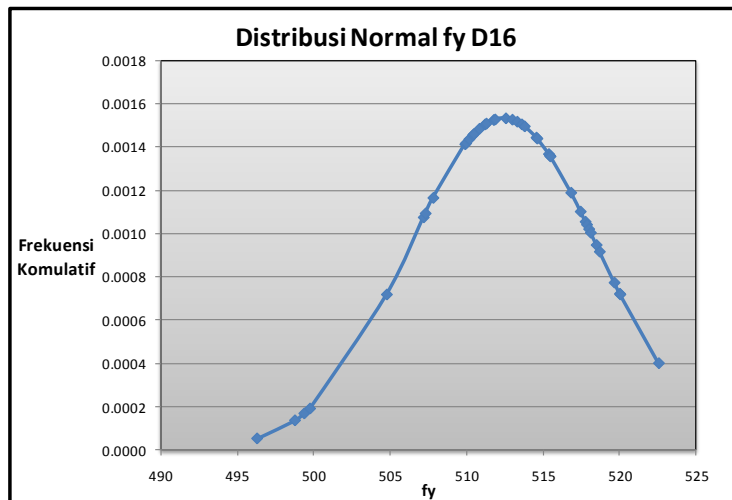
LAMPIRAN



Lampiran 16 : Gambar distribusi normal ϵ_{su} D13

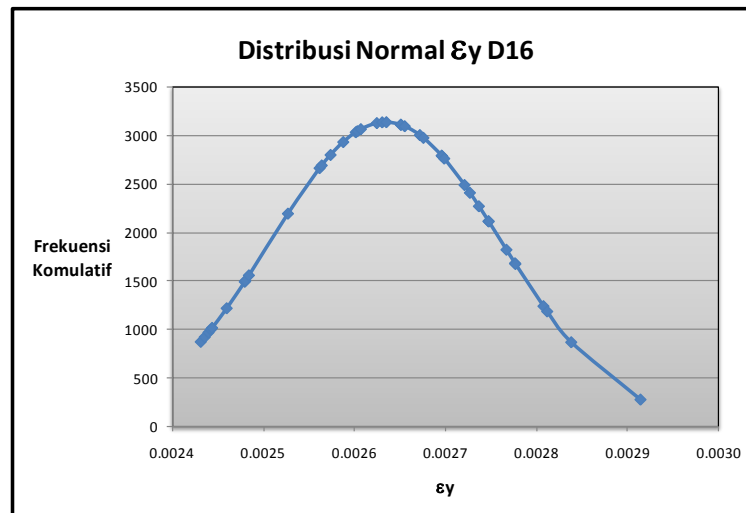
Lampiran 17 : Tabel distribusi normal f_y D16

No.	f_y	mean	$(x_j - \bar{x})^2$	standar deviasi	frekuensi kumulatif
1	496.2745	512.3925	259.7895	6.1943	0.0001
2	498.7514		186.0785		0.0001
3	499.3592		169.8662		0.0002
4	499.7376		160.1453		0.0002
5	504.7603		58.2496		0.0007
6	507.1685		27.2897		0.0011
7	507.2947		25.9879		0.0011
8	507.7992		21.0982		0.0012
9	509.8863		6.2810		0.0014
10	509.9436		5.9968		0.0014
11	510.1500		5.0285		0.0014
12	510.3908		4.0066		0.0015
13	510.4597		3.7359		0.0015
14	510.8151		2.4880		0.0015
15	511.1821		1.4650		0.0015
16	511.2738		1.2514		0.0015
17	511.7555		0.4058		0.0015
18	511.8472		0.2973		0.0015
19	512.5467		0.0238		0.0015
20	512.9710		0.3347		0.0015
21	513.2921		0.8093		0.0015
22	513.5903		1.4346		0.0015
23	513.7737		1.9078		0.0015
24	514.5420		4.6206		0.0014
25	514.5994		4.8704		0.0014
26	515.3562		8.7838		0.0014
27	515.4250		9.1964		0.0014
28	515.4594		9.4062		0.0014
29	516.8126		19.5374		0.0012
30	517.4319		25.3952		0.0011
31	517.7529		28.7342		0.0011
32	517.8447		29.7262		0.0010
33	517.9823		31.2459		0.0010
34	518.0970		32.5409		0.0010
35	518.4754		37.0015		0.0009
36	518.6818		39.5552		0.0009
37	519.6451		52.5998		0.0008
38	520.0005		57.8821		0.0007
39	520.0235		58.2321		0.0007
40	522.5463		103.0998		0.0004

Lampiran 18 : Gambar distribusi normal f_y D16Lampiran 19 : Tabel distribusi normal ε_y D16

No.	ε_y	mean	$(x_j - \bar{x}_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	0.0024	0.0026	0.0000	0.0001	875.0851
2	0.0024		0.0000		923.7640
3	0.0024		0.0000		971.4567
4	0.0024		0.0000		1000.7864
5	0.0024		0.0000		1018.4655
6	0.0025		0.0000		1220.7999
7	0.0025		0.0000		1494.3667
8	0.0025		0.0000		1504.6143
9	0.0025		0.0000		1560.4518
10	0.0025		0.0000		2196.6771
11	0.0026		0.0000		2665.7897
12	0.0026		0.0000		2694.0373
13	0.0026		0.0000		2802.2686
14	0.0026		0.0000		2934.9364
15	0.0026		0.0000		3035.9251
16	0.0026		0.0000		3046.4040
17	0.0026		0.0000		3067.9422
18	0.0026		0.0000		3130.6078
19	0.0026		0.0000		3138.4662
20	0.0026		0.0000		3139.9542
21	0.0027		0.0000		3113.4776
22	0.0027		0.0000		3113.4533
23	0.0027		0.0000		3098.4052
24	0.0027		0.0000		3006.9431
25	0.0027		0.0000		2978.4966
26	0.0027		0.0000		2795.3776
27	0.0027		0.0000		2789.8198
28	0.0027		0.0000		2764.6347
29	0.0027		0.0000		2491.9614
30	0.0027		0.0000		2411.9239
31	0.0027		0.0000		2272.8690
32	0.0027		0.0000		2119.0650
33	0.0027		0.0000		2115.6275
34	0.0028		0.0000		1824.5013
35	0.0028		0.0000		1684.7501
36	0.0028		0.0000		1678.0547
37	0.0028		0.0000		1242.4995
38	0.0028		0.0000		1188.2294
39	0.0028		0.0000		870.6531
40	0.0029		0.0000		279.2514

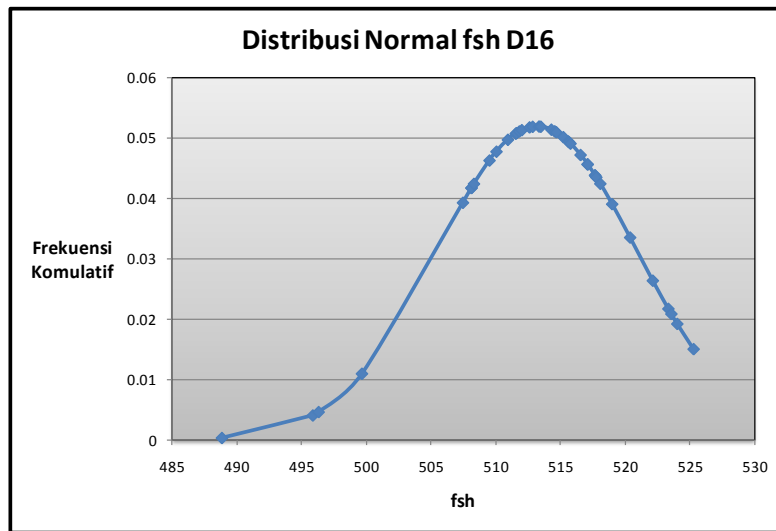
LAMPIRAN



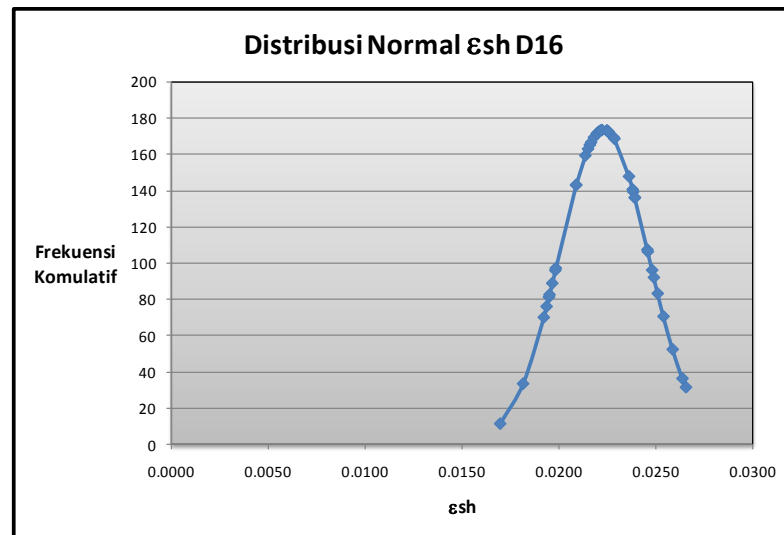
Lampiran 20 : Gambar distribusi normal ϵ_y D16

Lampiran 21 : Tabel distribusi normal f_{sh} D16

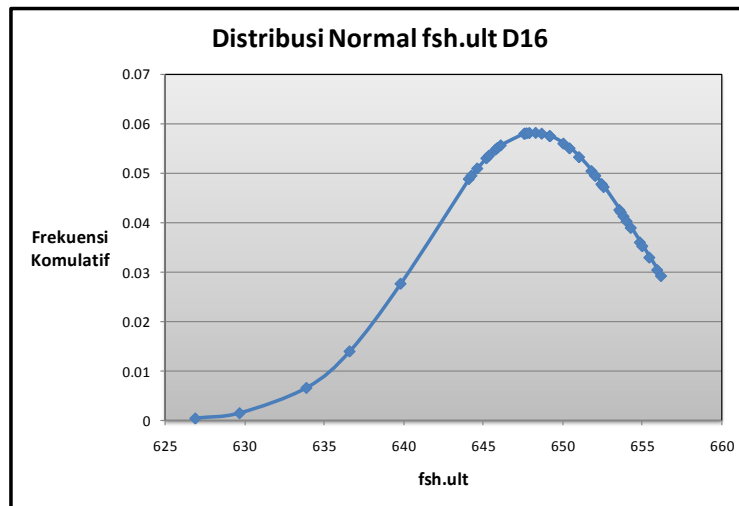
No.	fsh	mean	$(x_j - \bar{x})^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	488.8551	513.2270	593.9924	7.6856	0.0003
2	495.8846		300.7605		0.0041
3	496.3318		285.4482		0.0046
4	499.6803		183.5131		0.0110
5	507.4896		32.9180		0.0393
6	508.1432		25.8449		0.0417
7	508.1547		25.7285		0.0418
8	508.3382		23.9008		0.0424
9	509.5423		13.5775		0.0463
10	510.0812		9.8960		0.0477
11	510.9642		5.1202		0.0497
12	511.5720		2.7391		0.0507
13	511.6293		2.5526		0.0508
14	511.8472		1.9039		0.0511
15	512.0422		1.4039		0.0513
16	512.6385		0.3464		0.0518
17	512.8793		0.1209		0.0519
18	513.3724		0.0211		0.0519
19	513.5100		0.0801		0.0519
20	514.3242		1.2037		0.0514
21	514.5879		1.8521		0.0511
22	514.7141		2.2113		0.0510
23	515.2530		4.1047		0.0501
24	515.6315		5.7813		0.0494
25	515.6888		6.0603		0.0493
26	515.8035		6.6380		0.0491
27	516.5832		11.2641		0.0472
28	517.1222		15.1724		0.0457
29	517.1337		15.2619		0.0456
30	517.6956		19.9679		0.0438
31	517.7185		20.1736		0.0438
32	517.7988		20.9012		0.0435
33	518.1084		23.8280		0.0424
34	519.0258		33.6259		0.0391
35	520.4134		51.6435		0.0335
36	522.1679		79.9388		0.0264
37	523.3720		102.9195		0.0217
38	523.6013		107.6252		0.0209
39	524.0600		117.3529		0.0192
40	525.3214		146.2740		0.0151

Lampiran 22 : Gambar distribusi normal f_{sh} D16Lampiran 23 : Tabel distribusi normal ε_{sh} D16

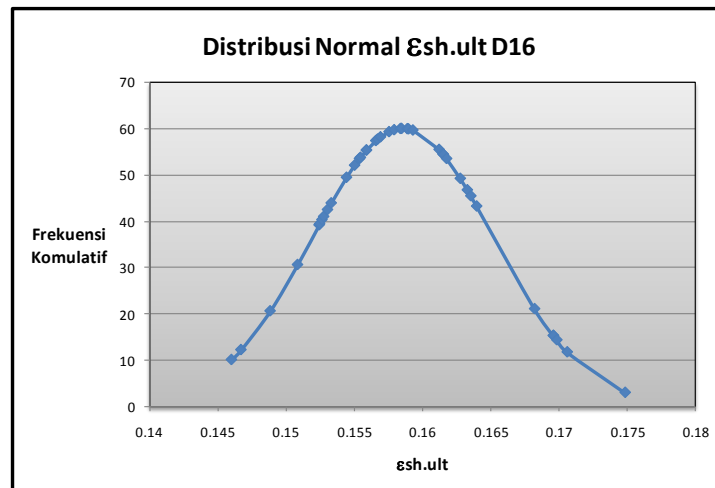
No.	ε_{sh}	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi kumulatif
1	0.0170	0.0223	0.0000286	0.0023	11.6209
2	0.0181		0.0000173		33.6730
3	0.0192		0.0000096		70.2603
4	0.0193		0.0000087		76.2433
5	0.0195		0.0000080		81.4562
6	0.0195		0.0000078		82.7285
7	0.0196		0.0000071		89.0539
8	0.0198		0.0000062		96.1665
9	0.0198		0.0000061		97.3631
10	0.0209		0.0000020		143.1478
11	0.0209		0.0000020		143.2868
12	0.0213		0.0000009		159.4807
13	0.0215		0.0000007		163.1170
14	0.0216		0.0000005		165.3012
15	0.0216		0.0000004		166.7332
16	0.0218		0.0000003		169.4867
17	0.0219		0.0000001		171.5820
18	0.0220		0.0000001		171.9987
19	0.0221		0.0000001		172.7445
20	0.0221		0.0000000		173.2371
21	0.0222		0.0000000		173.5120
22	0.0225		0.0000000		173.2584
23	0.0225		0.0000000		173.1353
24	0.0225		0.0000001		172.6896
25	0.0228		0.0000003		169.5333
26	0.0228		0.0000003		168.7550
27	0.0236		0.0000017		147.9577
28	0.0238		0.0000022		140.7242
29	0.0238		0.0000023		139.4687
30	0.0239		0.0000026		136.3244
31	0.0239		0.0000026		136.1441
32	0.0245		0.0000051		107.5513
33	0.0246		0.0000052		106.4671
34	0.0248		0.0000062		96.3059
35	0.0249		0.0000067		92.2714
36	0.0251		0.0000077		83.3739
37	0.0254		0.0000095		70.7537
38	0.0258		0.0000126		52.5804
39	0.0264		0.0000165		36.5290
40	0.0265		0.0000180		31.6902

Lampiran 24 : Gambar distribusi normal ϵ_{sh} D16Lampiran 25 : Tabel distribusi normal f_{shu} D16

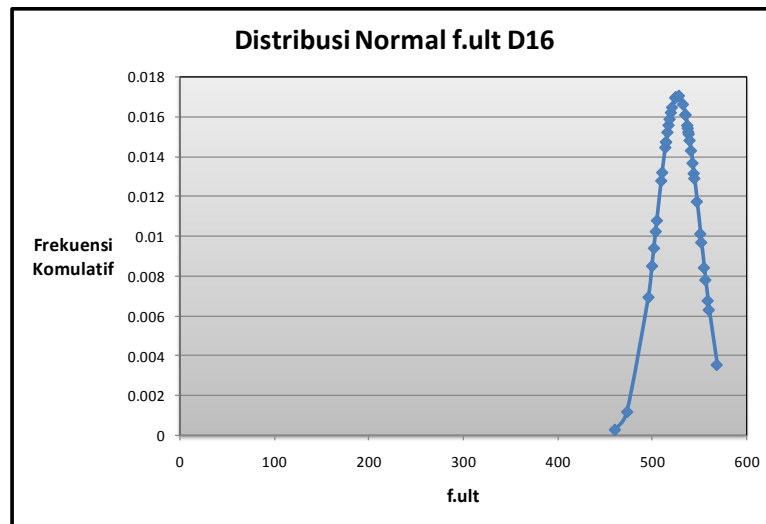
No.	fsh.ult	mean	(xj - xm)^2	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	626.9168	648.1994	452.9475	6.8591	0.0005
2	629.7033		342.1046		0.0015
3	633.9117		204.1365		0.0066
4	636.6294		133.8638		0.0140
5	639.8402		69.8754		0.0277
6	644.1426		16.4576		0.0488
7	644.3032		15.1804		0.0495
8	644.6702		12.4550		0.0510
9	645.2437		8.7359		0.0530
10	645.4043		7.8126		0.0535
11	645.8172		5.6748		0.0548
12	645.9434		5.0894		0.0551
13	646.1499		4.2006		0.0556
14	647.6295		0.3248		0.0580
15	647.6754		0.2746		0.0580
16	647.7786		0.1770		0.0581
17	647.9507		0.0619		0.0581
18	648.3521		0.0233		0.0582
19	648.7306		0.2822		0.0580
20	649.2239		1.0496		0.0575
21	649.2583		1.1212		0.0575
22	650.0956		3.5956		0.0560
23	650.4856		5.2267		0.0550
24	651.0820		8.3096		0.0533
25	651.8620		13.4150		0.0504
26	652.0800		15.0590		0.0496
27	652.1029		15.2374		0.0495
28	652.4929		18.4339		0.0478
29	652.5158		18.6313		0.0477
30	652.6305		19.6347		0.0472
31	653.6170		29.3502		0.0426
32	653.7087		30.3531		0.0421
33	653.8808		32.2785		0.0413
34	654.0758		34.5320		0.0403
35	654.3395		37.7015		0.0390
36	654.9131		45.0734		0.0360
37	655.0622		47.0980		0.0353
38	655.5095		53.4377		0.0330
39	656.0027		60.8923		0.0305
40	656.2436		64.7101		0.0292

Lampiran 26 : Gambar distribusi normal f_{shu} D16Lampiran 27 : Tabel distribusi normal ε_{shu} D16

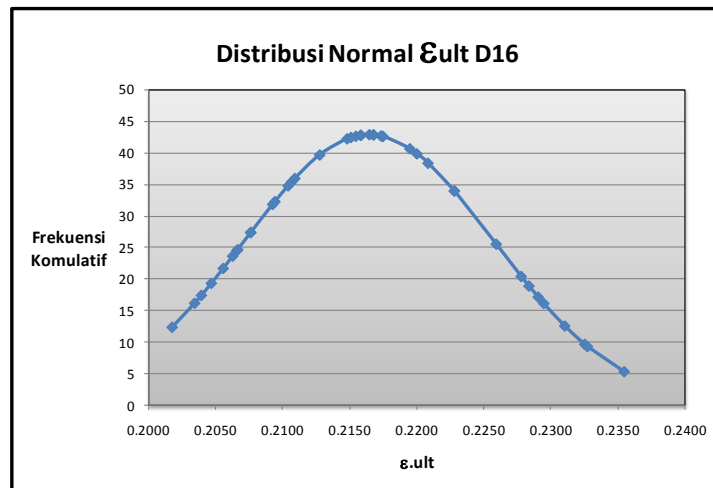
No.	$\varepsilon_{sh.ult}$	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	0.1460	0.1586	0.000158	0.0067	10.1225
2	0.1467		0.000141		12.2583
3	0.1489		0.000095		20.6203
4	0.1509		0.000060		30.6053
5	0.1525		0.000038		39.1687
6	0.1525		0.000037		39.3978
7	0.1527		0.000035		40.2990
8	0.1528		0.000034		40.9801
9	0.1531		0.000031		42.4753
10	0.1533		0.000028		43.9034
11	0.1545		0.000017		49.4277
12	0.1550		0.000013		52.0392
13	0.1554		0.000010		53.4651
14	0.1555		0.000010		53.7307
15	0.1559		0.000007		55.2970
16	0.1559		0.000007		55.3002
17	0.1566		0.000004		57.3325
18	0.1567		0.000003		57.6524
19	0.1569		0.000003		58.1460
20	0.1576		0.000001		59.2564
21	0.1579		0.000000		59.6774
22	0.1584		0.000000		59.9392
23	0.1585		0.000000		59.9568
24	0.1589		0.000000		59.9000
25	0.1590		0.000000		59.8601
26	0.1593		0.000001		59.6155
27	0.1612		0.000007		55.4382
28	0.1615		0.000008		54.4782
29	0.1615		0.000009		54.3424
30	0.1618		0.000010		53.4774
31	0.1628		0.000018		49.1982
32	0.1633		0.000022		46.7251
33	0.1636		0.000025		45.4302
34	0.1640		0.000029		43.2234
35	0.1682		0.000093		21.0895
36	0.1696		0.000121		15.3305
37	0.1696		0.000121		15.3020
38	0.1698		0.000126		14.3771
39	0.1706		0.000144		11.7732
40	0.1748		0.000264		3.0465

Lampiran 28 : Gambar distribusi normal ε_{shu} D16Lampiran 29 : Tabel distribusi normal f_{su} D16

No.	fult	mean	(xj - xm)^2	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	460.5744	527.9111	4534.2292	23.3792	0.0003
2	473.7449		2933.9842		0.0012
3	496.5130		985.8451		0.0069
4	500.2973		762.5225		0.0085
5	502.3611		652.8066		0.0094
6	504.2568		559.5271		0.0102
7	505.4976		502.3646		0.0108
8	510.1279		316.2448		0.0128
9	511.1389		281.3065		0.0132
10	514.4249		181.8788		0.0145
11	515.2045		161.4585		0.0147
12	515.2291		160.8331		0.0147
13	516.7113		125.4370		0.0152
14	517.9062		100.0993		0.0156
15	519.0206		79.0408		0.0159
16	520.3879		56.5994		0.0162
17	521.6747		38.8934		0.0165
18	525.1445		7.6545		0.0169
19	525.5581		5.5369		0.0170
20	528.9589		1.0979		0.0171
21	533.2766		28.7886		0.0166
22	535.8911		63.6800		0.0161
23	535.9445		64.5343		0.0161
24	537.9551		100.8815		0.0156
25	538.4377		110.8079		0.0154
26	539.0581		124.2544		0.0152
27	539.4028		132.0578		0.0151
28	540.3679		155.1706		0.0148
29	541.8311		193.7652		0.0143
30	543.5045		243.1522		0.0137
31	544.8028		285.3275		0.0131
32	545.4117		306.2695		0.0129
33	548.1577		409.9217		0.0117
34	551.8343		572.3164		0.0101
35	552.8109		619.9973		0.0097
36	555.7292		773.8434		0.0084
37	557.1768		856.4815		0.0078
38	559.7504		1013.7414		0.0068
39	560.9453		1091.2591		0.0063
40	569.4245		1723.3567		0.0035

Lampiran 30 : Gambar distribusi normal f_{su} D16Lampiran 31 : Tabel distribusi normal ε_{su} D16

No.	ε_{ult}	mean	$(x_j - x_m)^2$	standar deviasi	frekuensi komulatif
1	0.2018	0.2164	0.000215	0.0093	12.3730
2	0.2035		0.000169		16.1725
3	0.2040		0.000156		17.4172
4	0.2047		0.000138		19.3293
5	0.2056		0.000118		21.6872
6	0.2063		0.000103		23.6411
7	0.2066		0.000097		24.4848
8	0.2067		0.000096		24.6674
9	0.2076		0.000078		27.3643
10	0.2076		0.000078		27.3900
11	0.2093		0.000052		31.8298
12	0.2094		0.000049		32.2725
13	0.2104		0.000036		34.7663
14	0.2107		0.000033		35.3834
15	0.2109		0.000031		35.9385
16	0.2128		0.000013		39.6647
17	0.2148		0.000003		42.2232
18	0.2151		0.000002		42.4271
19	0.2155		0.000001		42.6411
20	0.2158		0.000000		42.7795
21	0.2159		0.000000		42.7932
22	0.2165		0.000000		42.8785
23	0.2168		0.000000		42.8548
24	0.2168		0.000000		42.8473
25	0.2173		0.000001		42.6815
26	0.2175		0.000001		42.6140
27	0.2195		0.000009		40.6513
28	0.2200		0.000013		39.8468
29	0.2208		0.000019		38.3613
30	0.2228		0.000040		33.9660
31	0.2228		0.000040		33.9660
32	0.2259		0.000090		25.5359
33	0.2278		0.000129		20.4195
34	0.2284		0.000142		18.8975
35	0.2290		0.000159		17.1556
36	0.2295		0.000169		16.1240
37	0.2310		0.000213		12.5644
38	0.2325		0.000258		9.6576
39	0.2327		0.000265		9.3019
40	0.2355		0.000361		5.3222



Lampiran 32 : Gambar distribusi normal ϵ_{su} D16

LAMPIRAN

Lampiran 33 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter fy tulangan D13

No.	X fy (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	481.492	0.005	0.007	0.025	0.000	0.018	0.007
2	481.961	0.006	0.009	0.050	0.025	0.041	0.016
3	482.779	0.010	0.016	0.075	0.050	0.059	0.034
4	482.796	0.010	0.016	0.100	0.075	0.084	0.059
5	483.961	0.018	0.033	0.125	0.100	0.092	0.067
6	486.013	0.042	0.092	0.150	0.125	0.058	0.033
7	490.203	0.097	0.394	0.175	0.150	0.219	0.244
8	490.377	0.098	0.411	0.200	0.175	0.211	0.236
9	490.481	0.099	0.421	0.225	0.200	0.196	0.221
10	490.516	0.099	0.424	0.250	0.225	0.174	0.199
11	490.516	0.099	0.424	0.275	0.250	0.149	0.174
12	490.603	0.099	0.433	0.300	0.275	0.133	0.158
13	490.742	0.100	0.447	0.325	0.300	0.122	0.147
14	490.759	0.100	0.449	0.350	0.325	0.099	0.124
15	490.950	0.100	0.468	0.375	0.350	0.093	0.118
16	491.055	0.100	0.478	0.400	0.375	0.078	0.103
17	491.211	0.101	0.494	0.425	0.400	0.069	0.094
18	491.298	0.101	0.503	0.450	0.425	0.053	0.078
19	491.350	0.101	0.508	0.475	0.450	0.033	0.058
20	491.455	0.101	0.518	0.500	0.475	0.018	0.043
21	491.768	0.100	0.550	0.525	0.500	0.025	0.050
22	491.855	0.100	0.558	0.550	0.525	0.008	0.033
23	492.098	0.098	0.582	0.575	0.550	0.007	0.032
24	492.133	0.098	0.586	0.600	0.575	0.014	0.011
25	492.324	0.097	0.605	0.625	0.600	0.020	0.005
26	492.828	0.093	0.653	0.650	0.625	0.003	0.028
27	493.054	0.091	0.673	0.675	0.650	0.002	0.023
28	493.141	0.090	0.681	0.700	0.675	0.019	0.006
29	493.245	0.089	0.691	0.725	0.700	0.034	0.009
30	493.576	0.085	0.719	0.750	0.725	0.031	0.006
31	494.219	0.076	0.771	0.775	0.750	0.004	0.021
32	494.706	0.069	0.807	0.800	0.775	0.007	0.032
33	494.897	0.066	0.820	0.825	0.800	0.005	0.020
34	495.071	0.064	0.831	0.850	0.825	0.019	0.006
35	495.158	0.062	0.836	0.875	0.850	0.039	0.014
36	495.262	0.061	0.843	0.900	0.875	0.057	0.032
37	495.471	0.057	0.855	0.925	0.900	0.070	0.045
38	496.097	0.048	0.888	0.950	0.925	0.062	0.037
39	496.445	0.043	0.904	0.975	0.950	0.071	0.046
40	497.018	0.035	0.926	1.000	0.975	0.074	0.049
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01					MAX	0.219	0.244
						0.252	
					DMAX 0.244	ok	Dkritis 0.252

LAMPIRAN

Lampiran 34 : Tabel Nilai D⁺ dan D⁻ untuk ke-40 data parameter ϵ_y tulangan D13

No.	X ϵ_y (mm/mm)	F _{x(x)} frekuensi	F _o Matchcad	F _n	F _{n-1}	D ⁺ =F _n -F _o	D ⁻ =F _o -F _{n-1}
1	0.0019	257.948	0.026	0.025	0.000	0.001	0.026
2	0.0019	395.963	0.026	0.050	0.025	0.024	0.001
3	0.0019	419.955	0.026	0.075	0.050	0.049	0.024
4	0.0019	432.428	0.026	0.100	0.075	0.074	0.049
5	0.0020	1137.240	0.086	0.125	0.100	0.039	0.014
6	0.0020	1175.212	0.086	0.150	0.125	0.064	0.039
7	0.0021	1397.268	0.219	0.175	0.150	0.044	0.069
8	0.0021	1438.035	0.219	0.200	0.175	0.019	0.044
9	0.0021	1870.587	0.219	0.225	0.200	0.006	0.019
10	0.0021	1952.027	0.219	0.250	0.225	0.031	0.006
11	0.0021	2084.351	0.219	0.275	0.250	0.056	0.031
12	0.0022	2172.433	0.425	0.300	0.275	0.125	0.150
13	0.0022	2177.973	0.425	0.325	0.300	0.100	0.125
14	0.0022	2301.395	0.425	0.350	0.325	0.075	0.100
15	0.0022	2309.045	0.425	0.375	0.350	0.050	0.075
16	0.0022	2326.046	0.425	0.400	0.375	0.025	0.050
17	0.0022	2327.329	0.425	0.425	0.400	0.000	0.025
18	0.0022	2335.587	0.425	0.450	0.425	0.025	0.000
19	0.0022	2337.904	0.425	0.475	0.450	0.050	0.025
20	0.0022	2341.789	0.425	0.500	0.475	0.075	0.050
21	0.0022	2331.416	0.425	0.525	0.500	0.100	0.075
22	0.0023	2317.398	0.655	0.550	0.525	0.105	0.130
23	0.0023	2276.622	0.655	0.575	0.550	0.080	0.105
24	0.0023	2240.551	0.655	0.600	0.575	0.055	0.080
25	0.0023	2227.455	0.655	0.625	0.600	0.030	0.055
26	0.0023	2224.387	0.655	0.650	0.625	0.005	0.030
27	0.0023	2153.254	0.655	0.675	0.650	0.020	0.005
28	0.0023	2148.655	0.655	0.700	0.675	0.045	0.020
29	0.0023	2110.864	0.655	0.725	0.700	0.070	0.045
30	0.0023	1968.178	0.655	0.750	0.725	0.095	0.070
31	0.0023	1914.350	0.655	0.775	0.750	0.120	0.095
32	0.0024	1801.574	0.838	0.800	0.775	0.038	0.063
33	0.0024	1719.838	0.838	0.825	0.800	0.013	0.038
34	0.0024	1714.991	0.838	0.850	0.825	0.012	0.013
35	0.0024	1539.435	0.838	0.875	0.850	0.037	0.012
36	0.0024	1100.658	0.838	0.900	0.875	0.062	0.037
37	0.0025	813.886	0.942	0.925	0.900	0.017	0.042
38	0.0025	635.191	0.942	0.950	0.925	0.008	0.017
39	0.0026	375.810	0.985	0.975	0.950	0.010	0.035
40	0.0026	360.662	0.985	1.000	0.975	0.015	0.010
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01					MAX	0.125	0.150
						0.252	
					D _{MAX} 0.150	ok	D _{kritis} 0.252

LAMPIRAN

Lampiran 35 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter fsh tulangan D13

No.	X fsh (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	481.492	0.005	0.007	0.025	0.000	0.018	0.007
2	481.961	0.006	0.009	0.050	0.025	0.041	0.016
3	482.779	0.010	0.016	0.075	0.050	0.059	0.034
4	482.796	0.010	0.016	0.100	0.075	0.084	0.059
5	483.961	0.018	0.033	0.125	0.100	0.092	0.067
6	486.013	0.042	0.092	0.150	0.125	0.058	0.033
7	490.203	0.097	0.394	0.175	0.150	0.219	0.244
8	490.377	0.098	0.411	0.200	0.175	0.211	0.236
9	490.481	0.099	0.421	0.225	0.200	0.196	0.221
10	490.516	0.099	0.424	0.250	0.225	0.174	0.199
11	490.516	0.099	0.424	0.275	0.250	0.149	0.174
12	490.603	0.099	0.433	0.300	0.275	0.133	0.158
13	490.742	0.100	0.447	0.325	0.300	0.122	0.147
14	490.759	0.100	0.449	0.350	0.325	0.099	0.124
15	490.950	0.100	0.468	0.375	0.350	0.093	0.118
16	491.055	0.100	0.478	0.400	0.375	0.078	0.103
17	491.211	0.101	0.494	0.425	0.400	0.069	0.094
18	491.298	0.101	0.503	0.450	0.425	0.053	0.078
19	491.350	0.101	0.508	0.475	0.450	0.033	0.058
20	491.455	0.101	0.518	0.500	0.475	0.018	0.043
21	491.768	0.100	0.550	0.525	0.500	0.025	0.050
22	491.855	0.100	0.558	0.550	0.525	0.008	0.033
23	492.098	0.098	0.582	0.575	0.550	0.007	0.032
24	492.133	0.098	0.586	0.600	0.575	0.014	0.011
25	492.324	0.097	0.605	0.625	0.600	0.020	0.005
26	492.828	0.093	0.653	0.650	0.625	0.003	0.028
27	493.054	0.091	0.673	0.675	0.650	0.002	0.023
28	493.141	0.090	0.681	0.700	0.675	0.019	0.006
29	493.245	0.089	0.691	0.725	0.700	0.034	0.009
30	493.576	0.085	0.719	0.750	0.725	0.031	0.006
31	494.219	0.076	0.771	0.775	0.750	0.004	0.021
32	494.706	0.069	0.807	0.800	0.775	0.007	0.032
33	494.897	0.066	0.820	0.825	0.800	0.005	0.020
34	495.071	0.064	0.831	0.850	0.825	0.019	0.006
35	495.158	0.062	0.836	0.875	0.850	0.039	0.014
36	495.262	0.061	0.843	0.900	0.875	0.057	0.032
37	495.471	0.057	0.855	0.925	0.900	0.070	0.045
38	496.097	0.048	0.888	0.950	0.925	0.062	0.037
39	496.445	0.043	0.904	0.975	0.950	0.071	0.046
40	497.018	0.035	0.926	1.000	0.975	0.074	0.049
					MAX	0.219	0.244
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01						0.252	
					DMAX 0.244	ok	Dkritis 0.252

LAMPIRAN

Lampiran 36 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter esh tulangan D13

No.	X Esh (mm/mm)	F _x (x) frekuensi	F _o Matchcad	F _n	F _{n-1}	D+=F _n -F _o	D-=F _o -F _{n-1}
1	0.0019	257.948	0.026	0.025	0.000	0.001	0.026
2	0.0019	395.963	0.026	0.050	0.025	0.024	0.001
3	0.0019	419.955	0.026	0.075	0.050	0.049	0.024
4	0.0019	432.428	0.026	0.100	0.075	0.074	0.049
5	0.0020	1137.240	0.086	0.125	0.100	0.039	0.014
6	0.0020	1175.212	0.086	0.150	0.125	0.064	0.039
7	0.0021	1397.268	0.219	0.175	0.150	0.044	0.069
8	0.0021	1438.035	0.219	0.200	0.175	0.019	0.044
9	0.0021	1870.587	0.219	0.225	0.200	0.006	0.019
10	0.0021	1952.027	0.219	0.250	0.225	0.031	0.006
11	0.0021	2084.351	0.219	0.275	0.250	0.056	0.031
12	0.0022	2172.433	0.425	0.300	0.275	0.125	0.150
13	0.0022	2177.973	0.425	0.325	0.300	0.100	0.125
14	0.0022	2301.395	0.425	0.350	0.325	0.075	0.100
15	0.0022	2309.045	0.425	0.375	0.350	0.050	0.075
16	0.0022	2326.046	0.425	0.400	0.375	0.025	0.050
17	0.0022	2327.329	0.425	0.425	0.400	0.000	0.025
18	0.0022	2335.587	0.425	0.450	0.425	0.025	0.000
19	0.0022	2337.904	0.425	0.475	0.450	0.050	0.025
20	0.0022	2341.789	0.425	0.500	0.475	0.075	0.050
21	0.0022	2331.416	0.425	0.525	0.500	0.100	0.075
22	0.0023	2317.398	0.655	0.550	0.525	0.105	0.130
23	0.0023	2276.622	0.655	0.575	0.550	0.080	0.105
24	0.0023	2240.551	0.655	0.600	0.575	0.055	0.080
25	0.0023	2227.455	0.655	0.625	0.600	0.030	0.055
26	0.0023	2224.387	0.655	0.650	0.625	0.005	0.030
27	0.0023	2153.254	0.655	0.675	0.650	0.020	0.005
28	0.0023	2148.655	0.655	0.700	0.675	0.045	0.020
29	0.0023	2110.864	0.655	0.725	0.700	0.070	0.045
30	0.0023	1968.178	0.655	0.750	0.725	0.095	0.070
31	0.0023	1914.350	0.655	0.775	0.750	0.120	0.095
32	0.0024	1801.574	0.838	0.800	0.775	0.038	0.063
33	0.0024	1719.838	0.838	0.825	0.800	0.013	0.038
34	0.0024	1714.991	0.838	0.850	0.825	0.012	0.013
35	0.0024	1539.435	0.838	0.875	0.850	0.037	0.012
36	0.0024	1100.658	0.838	0.900	0.875	0.062	0.037
37	0.0025	813.886	0.942	0.925	0.900	0.017	0.042
38	0.0025	635.191	0.942	0.950	0.925	0.008	0.017
39	0.0026	375.810	0.985	0.975	0.950	0.010	0.035
40	0.0026	360.662	0.985	1.000	0.975	0.015	0.010
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01					MAX	0.125	0.150
						0.252	
					DMAX 0.150	ok	Dkritis 0.252

Lampiran 37 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter fsh.ult tulangan D13

No.	X fsh.ult (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	714.875	0.019	0.150	0.025	0.000	0.125	0.150
2	715.292	0.019	0.158	0.050	0.025	0.108	0.133
3	715.848	0.020	0.169	0.075	0.050	0.094	0.119
4	715.848	0.020	0.169	0.100	0.075	0.069	0.094
5	716.056	0.020	0.173	0.125	0.100	0.048	0.073
6	716.716	0.021	0.187	0.150	0.125	0.037	0.062
7	718.002	0.023	0.216	0.175	0.150	0.041	0.066
8	718.210	0.024	0.221	0.200	0.175	0.021	0.046
9	718.697	0.024	0.233	0.225	0.200	0.008	0.033
10	718.836	0.025	0.236	0.250	0.225	0.014	0.011
11	719.721	0.026	0.258	0.275	0.250	0.017	0.008
12	720.538	0.027	0.280	0.300	0.275	0.020	0.005
13	720.590	0.027	0.281	0.325	0.300	0.044	0.019
14	720.764	0.027	0.286	0.350	0.325	0.064	0.039
15	721.372	0.028	0.303	0.375	0.350	0.072	0.047
16	721.563	0.028	0.308	0.400	0.375	0.092	0.067
17	721.580	0.028	0.309	0.425	0.400	0.116	0.091
18	721.858	0.028	0.316	0.450	0.425	0.134	0.109
19	722.935	0.029	0.348	0.475	0.450	0.127	0.102
20	723.230	0.030	0.356	0.500	0.475	0.144	0.119
21	723.474	0.030	0.364	0.525	0.500	0.161	0.136
22	723.595	0.030	0.367	0.550	0.525	0.183	0.158
23	723.717	0.030	0.371	0.575	0.550	0.204	0.179
24	723.890	0.030	0.376	0.600	0.575	0.224	0.199
25	724.481	0.031	0.394	0.625	0.600	0.231	0.206
26	725.558	0.031	0.428	0.650	0.625	0.222	0.197
27	725.958	0.031	0.440	0.675	0.650	0.235	0.210
28	727.816	0.032	0.499	0.700	0.675	0.201	0.176
29	727.816	0.032	0.499	0.725	0.700	0.226	0.201
30	728.077	0.032	0.507	0.750	0.725	0.243	0.218
31	730.109	0.031	0.572	0.775	0.750	0.203	0.178
32	744.926	0.013	0.914	0.800	0.775	0.114	0.139
33	746.142	0.011	0.928	0.825	0.800	0.103	0.128
34	746.941	0.010	0.936	0.850	0.825	0.086	0.111
35	748.852	0.008	0.953	0.875	0.850	0.078	0.103
36	749.078	0.008	0.955	0.900	0.875	0.055	0.080
37	750.224	0.006	0.963	0.925	0.900	0.038	0.063
38	750.728	0.006	0.966	0.950	0.925	0.016	0.041
39	754.098	0.004	0.982	0.975	0.950	0.007	0.032
40	755.748	0.003	0.987	1.000	0.975	0.013	0.012
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01					MAX	0.243	0.218
						0.252	
					DMAX 0.243	ok	Dkritis 0.252

LAMPIRAN

Lampiran 38 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter $\varepsilon_{sh,ult}$ tulangan D13

No.	X $\varepsilon_{sh,ult}$ (mm/mm)	F _{x(x)} frekuensi	F _o Matchcad	F _n	F _{n-1}	D+=F _n -F _o	D-=F _o -F _{n-1}
1	0.141	1.548	0.004	0.025	0.000	0.021	0.004
2	0.147	8.707	0.032	0.050	0.025	0.018	0.007
3	0.152	26.216	0.114	0.075	0.050	0.039	0.064
4	0.155	36.997	0.206	0.100	0.075	0.106	0.131
5	0.155	37.579	0.206	0.125	0.100	0.081	0.106
6	0.155	38.276	0.206	0.150	0.125	0.056	0.081
7	0.156	39.820	0.244	0.175	0.150	0.069	0.094
8	0.156	41.418	0.244	0.200	0.175	0.044	0.069
9	0.156	41.829	0.244	0.225	0.200	0.019	0.044
10	0.157	43.050	0.286	0.250	0.225	0.036	0.061
11	0.157	43.207	0.286	0.275	0.250	0.011	0.036
12	0.157	43.896	0.286	0.300	0.275	0.014	0.011
13	0.157	44.492	0.286	0.325	0.300	0.039	0.014
14	0.157	44.606	0.286	0.350	0.325	0.064	0.039
15	0.157	44.963	0.286	0.375	0.350	0.089	0.064
16	0.158	45.427	0.332	0.400	0.375	0.068	0.043
17	0.158	45.462	0.332	0.425	0.400	0.093	0.068
18	0.158	47.678	0.332	0.450	0.425	0.118	0.093
19	0.159	49.379	0.380	0.475	0.450	0.095	0.070
20	0.160	50.668	0.429	0.500	0.475	0.071	0.046
21	0.161	51.038	0.480	0.525	0.500	0.045	0.020
22	0.161	51.274	0.480	0.550	0.525	0.070	0.045
23	0.161	51.340	0.480	0.575	0.550	0.095	0.070
24	0.162	51.283	0.532	0.600	0.575	0.068	0.043
25	0.162	50.858	0.532	0.625	0.600	0.093	0.068
26	0.163	50.791	0.582	0.650	0.625	0.068	0.043
27	0.164	48.766	0.632	0.675	0.650	0.043	0.018
28	0.164	48.505	0.632	0.700	0.675	0.068	0.043
29	0.165	46.014	0.679	0.725	0.700	0.046	0.021
30	0.166	43.489	0.724	0.750	0.725	0.026	0.001
31	0.167	40.500	0.765	0.775	0.750	0.010	0.015
32	0.167	40.460	0.765	0.800	0.775	0.035	0.010
33	0.167	40.048	0.765	0.825	0.800	0.060	0.035
34	0.170	29.450	0.866	0.850	0.825	0.016	0.041
35	0.170	29.260	0.866	0.875	0.850	0.009	0.016
36	0.174	14.251	0.948	0.900	0.875	0.048	0.073
37	0.174	13.067	0.948	0.925	0.900	0.023	0.048
38	0.176	9.211	0.970	0.950	0.925	0.020	0.045
39	0.176	7.876	0.970	0.975	0.950	0.005	0.020
40	0.178	5.942	0.984	1.000	0.975	0.016	0.009
Berdasarkan tabel					MAX	0.118	0.131
		nilai kritis n = 40	$\alpha =$	0.01	0.252		
					D _{MAX} 0.131	ok	D _{kritis} 0.252

Lampiran 39 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter f.ult tulangan D13

No.	X fult (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	598.404	0.005	0.079	0.025	0.000	0.054	0.079
2	600.037	0.005	0.087	0.050	0.025	0.037	0.062
3	612.006	0.009	0.173	0.075	0.050	0.098	0.123
4	612.735	0.009	0.179	0.100	0.075	0.079	0.104
5	613.030	0.009	0.182	0.125	0.100	0.057	0.082
6	614.663	0.010	0.197	0.150	0.125	0.047	0.072
7	615.323	0.010	0.204	0.175	0.150	0.029	0.054
8	616.209	0.010	0.213	0.200	0.175	0.013	0.038
9	616.591	0.010	0.217	0.225	0.200	0.008	0.017
10	617.234	0.010	0.223	0.250	0.225	0.027	0.002
11	618.155	0.011	0.233	0.275	0.250	0.042	0.017
12	619.075	0.011	0.243	0.300	0.275	0.057	0.032
13	620.865	0.011	0.262	0.325	0.300	0.063	0.038
14	621.368	0.011	0.268	0.350	0.325	0.082	0.057
15	626.093	0.012	0.324	0.375	0.350	0.051	0.026
16	626.944	0.013	0.335	0.400	0.375	0.065	0.040
17	627.413	0.013	0.341	0.425	0.400	0.084	0.059
18	627.813	0.013	0.346	0.450	0.425	0.104	0.079
19	630.002	0.013	0.374	0.475	0.450	0.101	0.076
20	630.019	0.013	0.375	0.500	0.475	0.125	0.100
21	630.297	0.013	0.378	0.525	0.500	0.147	0.122
22	633.076	0.013	0.415	0.550	0.525	0.135	0.110
23	633.406	0.014	0.420	0.575	0.550	0.155	0.130
24	635.387	0.014	0.447	0.600	0.575	0.153	0.128
25	637.349	0.014	0.474	0.625	0.600	0.151	0.126
26	637.402	0.014	0.474	0.650	0.625	0.176	0.151
27	637.905	0.014	0.481	0.675	0.650	0.194	0.169
28	638.913	0.014	0.495	0.700	0.675	0.205	0.180
29	643.481	0.014	0.558	0.725	0.700	0.167	0.142
30	644.159	0.014	0.567	0.750	0.725	0.183	0.158
31	649.492	0.013	0.638	0.775	0.750	0.137	0.112
32	674.471	0.007	0.889	0.800	0.775	0.089	0.114
33	674.471	0.007	0.889	0.825	0.800	0.064	0.089
34	676.781	0.006	0.903	0.850	0.825	0.053	0.078
35	682.044	0.005	0.931	0.875	0.850	0.056	0.081
36	682.809	0.004	0.934	0.900	0.875	0.034	0.059
37	690.070	0.003	0.961	0.925	0.900	0.036	0.061
38	693.961	0.002	0.971	0.950	0.925	0.021	0.046
39	702.854	0.001	0.986	0.975	0.950	0.011	0.036
40	707.753	0.001	0.991	1.000	0.975	0.009	0.016
					MAX	0.205	0.180
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01						0.252	
					DMAX 0.205	ok	Dkritis 0.252

LAMPIRAN

Lampiran 40 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter ε_{ult} tulangan D13

No.	X ε_{ult} (mm/mm)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	0.193	5.678	0.025	0.025	0.000	0.000	0.025
2	0.193	5.895	0.025	0.050	0.025	0.025	0.000
3	0.195	9.216	0.040	0.075	0.050	0.035	0.010
4	0.198	15.504	0.076	0.100	0.075	0.024	0.001
5	0.200	20.252	0.112	0.125	0.100	0.013	0.012
6	0.202	24.711	0.159	0.150	0.125	0.009	0.034
7	0.205	33.361	0.249	0.175	0.150	0.074	0.099
8	0.206	36.763	0.285	0.200	0.175	0.085	0.110
9	0.206	37.441	0.285	0.225	0.200	0.060	0.085
10	0.207	37.676	0.322	0.250	0.225	0.072	0.097
11	0.207	38.656	0.322	0.275	0.250	0.047	0.072
12	0.207	39.272	0.322	0.300	0.275	0.022	0.047
13	0.207	39.385	0.322	0.325	0.300	0.003	0.022
14	0.208	40.041	0.362	0.350	0.325	0.012	0.037
15	0.208	40.657	0.362	0.375	0.350	0.013	0.012
16	0.209	41.614	0.403	0.400	0.375	0.003	0.028
17	0.209	42.012	0.403	0.425	0.400	0.022	0.003
18	0.209	42.062	0.403	0.450	0.425	0.047	0.022
19	0.209	42.112	0.403	0.475	0.450	0.072	0.047
20	0.210	42.406	0.445	0.500	0.475	0.055	0.030
21	0.210	42.527	0.445	0.525	0.500	0.080	0.055
22	0.211	42.870	0.487	0.550	0.525	0.063	0.038
23	0.212	42.843	0.530	0.575	0.550	0.045	0.020
24	0.213	42.557	0.573	0.600	0.575	0.027	0.002
25	0.213	42.108	0.573	0.625	0.600	0.052	0.027
26	0.213	41.996	0.573	0.650	0.625	0.077	0.052
27	0.214	41.268	0.615	0.675	0.650	0.060	0.035
28	0.214	40.541	0.615	0.700	0.675	0.085	0.060
29	0.214	40.523	0.615	0.725	0.700	0.110	0.085
30	0.217	36.639	0.730	0.750	0.725	0.020	0.005
31	0.218	33.395	0.765	0.775	0.750	0.010	0.015
32	0.219	31.776	0.796	0.800	0.775	0.004	0.021
33	0.220	28.169	0.826	0.825	0.800	0.001	0.026
34	0.220	27.037	0.826	0.850	0.825	0.024	0.001
35	0.221	25.111	0.852	0.875	0.850	0.023	0.002
36	0.223	20.507	0.896	0.900	0.875	0.004	0.021
37	0.223	19.021	0.896	0.925	0.900	0.029	0.004
38	0.223	18.176	0.896	0.950	0.925	0.054	0.029
39	0.228	9.135	0.964	0.975	0.950	0.011	0.014
40	0.238	0.683	0.998	1.000	0.975	0.002	0.023
Berdasarkan tabel					MAX	0.110	0.110
						0.252	
		nilai kritis n = 40	$\alpha =$	0.01	DMAX 0.110	ok	Dkritis 0.252

LAMPIRAN

Lampiran 41 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter fy tulangan D16

No.	X fy (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	496.275	0.0001	0.005	0.025	0.000	0.020	0.005
2	498.751	0.0001	0.014	0.050	0.025	0.036	0.011
3	499.359	0.0002	0.018	0.075	0.050	0.057	0.032
4	499.738	0.0002	0.021	0.100	0.075	0.079	0.054
5	504.760	0.0007	0.109	0.125	0.100	0.016	0.009
6	507.169	0.0011	0.200	0.150	0.125	0.050	0.075
7	507.295	0.0011	0.205	0.175	0.150	0.030	0.055
8	507.799	0.0012	0.229	0.200	0.175	0.029	0.054
9	509.886	0.0014	0.343	0.225	0.200	0.118	0.143
10	509.944	0.0014	0.346	0.250	0.225	0.096	0.121
11	510.150	0.0014	0.359	0.275	0.250	0.084	0.109
12	510.391	0.0015	0.373	0.300	0.275	0.073	0.098
13	510.460	0.0015	0.378	0.325	0.300	0.053	0.078
14	510.815	0.0015	0.399	0.350	0.325	0.049	0.074
15	511.182	0.0015	0.423	0.375	0.350	0.048	0.073
16	511.274	0.0015	0.428	0.400	0.375	0.028	0.053
17	511.755	0.0015	0.459	0.425	0.400	0.034	0.059
18	511.847	0.0015	0.465	0.450	0.425	0.015	0.040
19	512.547	0.0015	0.510	0.475	0.450	0.035	0.060
20	512.971	0.0015	0.537	0.500	0.475	0.037	0.062
21	513.292	0.0015	0.558	0.525	0.500	0.033	0.058
22	513.590	0.0015	0.577	0.550	0.525	0.027	0.052
23	513.774	0.0015	0.588	0.575	0.550	0.013	0.038
24	514.542	0.0014	0.636	0.600	0.575	0.036	0.061
25	514.599	0.0014	0.639	0.625	0.600	0.014	0.039
26	515.356	0.0014	0.684	0.650	0.625	0.034	0.059
27	515.425	0.0014	0.688	0.675	0.650	0.013	0.038
28	515.459	0.0014	0.690	0.700	0.675	0.010	0.015
29	516.813	0.0012	0.762	0.725	0.700	0.037	0.062
30	517.432	0.0011	0.792	0.750	0.725	0.042	0.067
31	517.753	0.0011	0.807	0.775	0.750	0.032	0.057
32	517.845	0.0010	0.811	0.800	0.775	0.011	0.036
33	517.982	0.0010	0.817	0.825	0.800	0.008	0.017
34	518.097	0.0010	0.821	0.850	0.825	0.029	0.004
35	518.475	0.0009	0.837	0.875	0.850	0.038	0.013
36	518.682	0.0009	0.845	0.900	0.875	0.055	0.030
37	519.645	0.0008	0.879	0.925	0.900	0.046	0.021
38	520.001	0.0007	0.890	0.950	0.925	0.060	0.035
39	520.023	0.0007	0.891	0.975	0.950	0.084	0.059
40	522.546	0.0004	0.949	1.000	0.975	0.051	0.026
					MAX	0.118	0.143
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01						0.252	
					DMAX 0.143	ok	Dkritis 0.165

LAMPIRAN

Lampiran 42 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter ϵ_y tulangan D16

No.	X ϵ_y (mm/mm)	F _{x(x)} frekuensi	F _o Matchcad	F _n	F _{n-1}	D+=F _n -F _o	D-=F _o -F _{n-1}
1	0.002	875.085	0.055	0.025	0.000	0.030	0.055
2	0.002	923.764	0.059	0.050	0.025	0.009	0.034
3	0.002	971.457	0.063	0.075	0.050	0.012	0.013
4	0.002	1000.786	0.065	0.100	0.075	0.035	0.010
5	0.002	1018.466	0.067	0.125	0.100	0.058	0.033
6	0.002	1220.800	0.085	0.150	0.125	0.065	0.040
7	0.002	1494.367	0.111	0.175	0.150	0.064	0.039
8	0.002	1504.614	0.113	0.200	0.175	0.087	0.062
9	0.002	1560.452	0.118	0.225	0.200	0.107	0.082
10	0.003	2196.677	0.199	0.250	0.225	0.051	0.026
11	0.003	2665.790	0.284	0.275	0.250	0.009	0.034
12	0.003	2694.037	0.290	0.300	0.275	0.010	0.015
13	0.003	2802.269	0.317	0.325	0.300	0.008	0.017
14	0.003	2934.936	0.357	0.350	0.325	0.007	0.032
15	0.003	3035.925	0.398	0.375	0.350	0.023	0.048
16	0.003	3046.404	0.403	0.400	0.375	0.003	0.028
17	0.003	3067.942	0.415	0.425	0.400	0.010	0.015
18	0.003	3130.608	0.469	0.450	0.425	0.019	0.044
19	0.003	3138.466	0.488	0.475	0.450	0.013	0.038
20	0.003	3139.954	0.502	0.500	0.475	0.002	0.027
21	0.003	3113.478	0.552	0.525	0.500	0.027	0.052
22	0.003	3113.453	0.552	0.550	0.525	0.002	0.027
23	0.003	3098.405	0.565	0.575	0.550	0.010	0.015
24	0.003	3006.943	0.616	0.600	0.575	0.016	0.041
25	0.003	2978.497	0.627	0.625	0.600	0.002	0.027
26	0.003	2795.378	0.685	0.650	0.625	0.035	0.060
27	0.003	2789.820	0.687	0.675	0.650	0.012	0.037
28	0.003	2764.635	0.693	0.700	0.675	0.007	0.018
29	0.003	2491.961	0.752	0.725	0.700	0.027	0.052
30	0.003	2411.924	0.766	0.750	0.725	0.016	0.041
31	0.003	2272.869	0.789	0.775	0.750	0.014	0.039
32	0.003	2119.065	0.812	0.800	0.775	0.012	0.037
33	0.003	2115.627	0.813	0.825	0.800	0.012	0.013
34	0.003	1824.501	0.851	0.850	0.825	0.001	0.026
35	0.003	1684.750	0.868	0.875	0.850	0.007	0.018
36	0.003	1678.055	0.869	0.900	0.875	0.031	0.006
37	0.003	1242.499	0.913	0.925	0.900	0.012	0.013
38	0.003	1188.229	0.918	0.950	0.925	0.032	0.007
39	0.003	870.653	0.945	0.975	0.950	0.030	0.005
40	0.003	279.251	0.986	1.000	0.975	0.014	0.011
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 $\alpha =$ 0.01					MAX	0.107	0.082
						0.252	
						DMAX 0.107	Dkritis 0.165
						ok	

LAMPIRAN

Lampiran 43 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter fsh tulangan D16

No.	X fsh (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	488.855	0.0003	0.001	0.025	0.000	0.024	0.001
2	495.885	0.0041	0.011	0.050	0.025	0.039	0.014
3	496.332	0.0046	0.013	0.075	0.050	0.062	0.037
4	499.680	0.0110	0.038	0.100	0.075	0.062	0.037
5	507.490	0.0393	0.231	0.125	0.100	0.106	0.131
6	508.143	0.0417	0.258	0.150	0.125	0.108	0.133
7	508.155	0.0418	0.259	0.175	0.150	0.084	0.109
8	508.338	0.0424	0.267	0.200	0.175	0.067	0.092
9	509.542	0.0463	0.322	0.225	0.200	0.097	0.122
10	510.081	0.0477	0.348	0.250	0.225	0.098	0.123
11	510.964	0.0497	0.393	0.275	0.250	0.118	0.143
12	511.572	0.0507	0.424	0.300	0.275	0.124	0.149
13	511.629	0.0508	0.427	0.325	0.300	0.102	0.127
14	511.847	0.0511	0.438	0.350	0.325	0.088	0.113
15	512.042	0.0513	0.449	0.375	0.350	0.074	0.099
16	512.638	0.0518	0.480	0.400	0.375	0.080	0.105
17	512.879	0.0519	0.493	0.425	0.400	0.068	0.093
18	513.372	0.0519	0.519	0.450	0.425	0.069	0.094
19	513.510	0.0519	0.527	0.475	0.450	0.052	0.077
20	514.324	0.0514	0.570	0.500	0.475	0.070	0.095
21	514.588	0.0511	0.584	0.525	0.500	0.059	0.084
22	514.714	0.0510	0.590	0.550	0.525	0.040	0.065
23	515.253	0.0501	0.618	0.575	0.550	0.043	0.068
24	515.631	0.0494	0.620	0.600	0.575	0.020	0.045
25	515.689	0.0493	0.637	0.625	0.600	0.012	0.037
26	515.803	0.0491	0.640	0.650	0.625	0.010	0.015
27	516.583	0.0472	0.646	0.675	0.650	0.029	0.004
28	517.122	0.0457	0.683	0.700	0.675	0.017	0.008
29	517.134	0.0456	0.709	0.725	0.700	0.016	0.009
30	517.696	0.0438	0.709	0.750	0.725	0.041	0.016
31	517.719	0.0438	0.734	0.775	0.750	0.041	0.016
32	517.799	0.0435	0.735	0.800	0.775	0.065	0.040
33	518.108	0.0424	0.739	0.825	0.800	0.086	0.061
34	519.026	0.0391	0.752	0.850	0.825	0.098	0.073
35	520.413	0.0335	0.789	0.875	0.850	0.086	0.061
36	522.168	0.0264	0.839	0.900	0.875	0.061	0.036
37	523.372	0.0217	0.889	0.925	0.900	0.036	0.011
38	523.601	0.0209	0.917	0.950	0.925	0.033	0.008
39	524.060	0.0192	0.921	0.975	0.950	0.054	0.029
40	525.321	0.0151	0.950	1.000	0.975	0.050	0.025
					MAX	0.124	0.149
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01						0.252	
					DMAX 0.149	ok	Dkritis 0.165

LAMPIRAN

Lampiran 44 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter esh tulangan D16

No.	X Esh (mm/mm)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	0.017	11.621	0.010	0.025	0.000	0.015	0.010
2	0.018	33.673	0.035	0.050	0.025	0.015	0.010
3	0.019	70.260	0.089	0.075	0.050	0.014	0.039
4	0.019	76.243	0.100	0.100	0.075	0.000	0.025
5	0.019	81.456	0.109	0.125	0.100	0.016	0.009
6	0.019	82.728	0.112	0.150	0.125	0.038	0.013
7	0.020	89.054	0.124	0.175	0.150	0.051	0.026
8	0.020	96.167	0.138	0.200	0.175	0.062	0.037
9	0.020	97.363	0.141	0.225	0.200	0.084	0.059
10	0.021	143.148	0.267	0.250	0.225	0.017	0.042
11	0.021	143.287	0.268	0.275	0.250	0.007	0.018
12	0.021	159.481	0.340	0.300	0.275	0.040	0.065
13	0.021	163.117	0.362	0.325	0.300	0.037	0.062
14	0.022	165.301	0.377	0.350	0.325	0.027	0.052
15	0.022	166.733	0.388	0.375	0.350	0.013	0.038
16	0.022	169.487	0.413	0.400	0.375	0.013	0.038
17	0.022	171.582	0.438	0.425	0.400	0.013	0.038
18	0.022	171.999	0.445	0.450	0.425	0.005	0.020
19	0.022	172.745	0.459	0.475	0.450	0.016	0.009
20	0.022	173.237	0.473	0.500	0.475	0.027	0.002
21	0.022	173.512	0.484	0.525	0.500	0.041	0.016
22	0.022	173.258	0.527	0.550	0.525	0.023	0.002
23	0.022	173.135	0.531	0.575	0.550	0.044	0.019
24	0.023	172.690	0.542	0.600	0.575	0.058	0.033
25	0.023	169.533	0.587	0.625	0.600	0.038	0.013
26	0.023	168.755	0.594	0.650	0.625	0.056	0.031
27	0.024	147.958	0.714	0.675	0.650	0.039	0.064
28	0.024	140.724	0.742	0.700	0.675	0.042	0.067
29	0.024	139.469	0.746	0.725	0.700	0.021	0.046
30	0.024	136.324	0.757	0.750	0.725	0.007	0.032
31	0.024	136.144	0.757	0.775	0.750	0.018	0.007
32	0.025	107.551	0.836	0.800	0.775	0.036	0.061
33	0.025	106.467	0.839	0.825	0.800	0.014	0.039
34	0.025	96.306	0.861	0.850	0.825	0.011	0.036
35	0.025	92.271	0.870	0.875	0.850	0.005	0.020
36	0.025	83.374	0.887	0.900	0.875	0.013	0.012
37	0.025	70.754	0.910	0.925	0.900	0.015	0.010
38	0.026	52.580	0.939	0.950	0.925	0.011	0.014
39	0.026	36.529	0.961	0.975	0.950	0.014	0.011
40	0.027	31.690	0.967	1.000	0.975	0.033	0.008
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01					MAX	0.084	0.067
						0.252	
					DMAX 0.084	ok	Dkritis 0.165

LAMPIRAN

Lampiran 45 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter fsh.ult tulangan D16

No.	X fsh.ult (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	626.917	0.0005	0.001	0.025	0.000	0.024	0.001
2	629.703	0.0015	0.004	0.050	0.025	0.046	0.021
3	633.912	0.0066	0.019	0.075	0.050	0.056	0.031
4	636.629	0.0140	0.046	0.100	0.075	0.054	0.029
5	639.840	0.0277	0.111	0.125	0.100	0.014	0.011
6	644.143	0.0488	0.277	0.150	0.125	0.127	0.152
7	644.303	0.0495	0.285	0.175	0.150	0.110	0.135
8	644.670	0.0510	0.303	0.200	0.175	0.103	0.128
9	645.244	0.0530	0.333	0.225	0.200	0.108	0.133
10	645.404	0.0535	0.342	0.250	0.225	0.092	0.117
11	645.817	0.0548	0.364	0.275	0.250	0.089	0.114
12	645.943	0.0551	0.371	0.300	0.275	0.071	0.096
13	646.150	0.0556	0.383	0.325	0.300	0.058	0.083
14	647.629	0.0580	0.467	0.350	0.325	0.117	0.142
15	647.675	0.0580	0.470	0.375	0.350	0.095	0.120
16	647.779	0.0581	0.476	0.400	0.375	0.076	0.101
17	647.951	0.0581	0.486	0.425	0.400	0.061	0.086
18	648.352	0.0582	0.509	0.450	0.425	0.059	0.084
19	648.731	0.0580	0.531	0.475	0.450	0.056	0.081
20	649.224	0.0575	0.559	0.500	0.475	0.059	0.084
21	649.258	0.0575	0.561	0.525	0.500	0.036	0.061
22	650.096	0.0560	0.609	0.550	0.525	0.059	0.084
23	650.486	0.0550	0.631	0.575	0.550	0.056	0.081
24	651.082	0.0533	0.663	0.600	0.575	0.063	0.088
25	651.862	0.0504	0.703	0.625	0.600	0.078	0.103
26	652.080	0.0496	0.714	0.650	0.625	0.064	0.089
27	652.103	0.0495	0.715	0.675	0.650	0.040	0.065
28	652.493	0.0478	0.734	0.700	0.675	0.034	0.059
29	652.516	0.0477	0.735	0.725	0.700	0.010	0.035
30	652.630	0.0472	0.741	0.750	0.725	0.009	0.016
31	653.617	0.0426	0.785	0.775	0.750	0.010	0.035
32	653.709	0.0421	0.789	0.800	0.775	0.011	0.014
33	653.881	0.0413	0.796	0.825	0.800	0.029	0.004
34	654.076	0.0403	0.804	0.850	0.825	0.046	0.021
35	654.340	0.0390	0.815	0.875	0.850	0.060	0.035
36	654.913	0.0360	0.836	0.900	0.875	0.064	0.039
37	655.062	0.0353	0.841	0.925	0.900	0.084	0.059
38	655.509	0.0330	0.857	0.950	0.925	0.093	0.068
39	656.003	0.0305	0.872	0.975	0.950	0.103	0.078
40	656.244	0.0292	0.880	1.000	0.975	0.120	0.095
					MAX	0.127	0.152
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01						0.252	
					DMAX 0.152	ok	Dkritis 0.165

LAMPIRAN

Lampiran 46 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter $\varepsilon_{sh,ult}$ tulangan D16

No.	X $\varepsilon_{sh,ult}$ (mm/mm)	F _x (x) frekuensi	F _o Matchcad	F _n	F _{n-1}	D+=F _n -F _o	D-=F _o -F _{n-1}
1	0.146	10.122	0.030	0.025	0.000	0.005	0.030
2	0.147	12.258	0.037	0.050	0.025	0.013	0.012
3	0.149	20.620	0.072	0.075	0.050	0.003	0.022
4	0.151	30.605	0.123	0.100	0.075	0.023	0.048
5	0.152	39.169	0.178	0.125	0.100	0.053	0.078
6	0.152	39.398	0.180	0.150	0.125	0.030	0.055
7	0.153	40.299	0.186	0.175	0.150	0.011	0.036
8	0.153	40.980	0.191	0.200	0.175	0.009	0.016
9	0.153	42.475	0.203	0.225	0.200	0.022	0.003
10	0.153	43.903	0.215	0.250	0.225	0.035	0.010
11	0.154	49.428	0.267	0.275	0.250	0.008	0.017
12	0.155	52.039	0.297	0.300	0.275	0.003	0.022
13	0.155	53.465	0.316	0.325	0.300	0.009	0.016
14	0.155	53.731	0.320	0.350	0.325	0.030	0.005
15	0.156	55.297	0.344	0.375	0.350	0.031	0.006
16	0.156	55.300	0.344	0.400	0.375	0.056	0.031
17	0.157	57.333	0.382	0.425	0.400	0.043	0.018
18	0.157	57.652	0.390	0.450	0.425	0.060	0.035
19	0.157	58.146	0.402	0.475	0.450	0.073	0.048
20	0.158	59.256	0.439	0.500	0.475	0.061	0.036
21	0.158	59.677	0.461	0.525	0.500	0.064	0.039
22	0.158	59.939	0.488	0.550	0.525	0.062	0.037
23	0.158	59.957	0.493	0.575	0.550	0.082	0.057
24	0.159	59.900	0.519	0.600	0.575	0.081	0.056
25	0.159	59.860	0.524	0.625	0.600	0.101	0.076
26	0.159	59.616	0.543	0.650	0.625	0.107	0.082
27	0.161	55.438	0.654	0.675	0.650	0.021	0.004
28	0.162	54.478	0.669	0.700	0.675	0.031	0.006
29	0.162	54.342	0.671	0.725	0.700	0.054	0.029
30	0.162	53.477	0.684	0.750	0.725	0.066	0.041
31	0.163	49.198	0.735	0.775	0.750	0.040	0.015
32	0.163	46.725	0.760	0.800	0.775	0.040	0.015
33	0.164	45.430	0.772	0.825	0.800	0.053	0.028
34	0.164	43.223	0.791	0.850	0.825	0.059	0.034
35	0.168	21.090	0.926	0.875	0.850	0.051	0.076
36	0.170	15.330	0.951	0.900	0.875	0.051	0.076
37	0.170	15.302	0.951	0.925	0.900	0.026	0.051
38	0.170	14.377	0.954	0.950	0.925	0.004	0.029
39	0.171	11.773	0.964	0.975	0.950	0.011	0.014
40	0.175	3.047	0.993	1.000	0.975	0.007	0.018
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01					MAX	0.107	0.082
						0.252	
					D _{MAX} 0.107	ok	D _{kritis} 0.165

LAMPIRAN

Lampiran 47 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter f.ult tulangan D16

No.	X fult (Mpa)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	460.574	0.0003	0.002	0.025	0.000	0.023	0.002
2	473.745	0.0012	0.010	0.050	0.025	0.040	0.015
3	496.513	0.0069	0.090	0.075	0.050	0.015	0.040
4	500.297	0.0085	0.119	0.100	0.075	0.019	0.044
5	502.361	0.0094	0.137	0.125	0.100	0.012	0.037
6	504.257	0.0102	0.156	0.150	0.125	0.006	0.031
7	505.498	0.0108	0.169	0.175	0.150	0.006	0.019
8	510.128	0.0128	0.223	0.200	0.175	0.023	0.048
9	511.139	0.0132	0.237	0.225	0.200	0.012	0.037
10	514.425	0.0145	0.282	0.250	0.225	0.032	0.057
11	515.205	0.0147	0.293	0.275	0.250	0.018	0.043
12	515.229	0.0147	0.294	0.300	0.275	0.006	0.019
13	516.711	0.0152	0.316	0.325	0.300	0.009	0.016
14	517.906	0.0156	0.334	0.350	0.325	0.016	0.009
15	519.021	0.0159	0.352	0.375	0.350	0.023	0.002
16	520.388	0.0162	0.374	0.400	0.375	0.026	0.001
17	521.675	0.0165	0.395	0.425	0.400	0.030	0.005
18	525.144	0.0169	0.453	0.450	0.425	0.003	0.028
19	525.558	0.0170	0.460	0.475	0.450	0.015	0.010
20	528.959	0.0171	0.518	0.500	0.475	0.018	0.043
21	533.277	0.0166	0.591	0.525	0.500	0.066	0.091
22	535.891	0.0161	0.634	0.550	0.525	0.084	0.109
23	535.944	0.0161	0.634	0.575	0.550	0.059	0.084
24	537.955	0.0156	0.666	0.600	0.575	0.066	0.091
25	538.438	0.0154	0.674	0.625	0.600	0.049	0.074
26	539.058	0.0152	0.683	0.650	0.625	0.033	0.058
27	539.403	0.0151	0.688	0.675	0.650	0.013	0.038
28	540.368	0.0148	0.703	0.700	0.675	0.003	0.028
29	541.831	0.0143	0.724	0.725	0.700	0.001	0.024
30	543.504	0.0137	0.748	0.750	0.725	0.002	0.023
31	544.803	0.0131	0.765	0.775	0.750	0.010	0.015
32	545.412	0.0129	0.773	0.800	0.775	0.027	0.002
33	548.158	0.0117	0.807	0.825	0.800	0.018	0.007
34	551.834	0.0101	0.847	0.850	0.825	0.003	0.022
35	552.811	0.0097	0.857	0.875	0.850	0.018	0.007
36	555.729	0.0084	0.883	0.900	0.875	0.017	0.008
37	557.177	0.0078	0.895	0.925	0.900	0.030	0.005
38	559.750	0.0068	0.913	0.950	0.925	0.037	0.012
39	560.945	0.0063	0.921	0.975	0.950	0.054	0.029
40	569.424	0.0035	0.962	1.000	0.975	0.038	0.013
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 α = 0.01					MAX	0.084	0.109
					DMAX 0.109	ok	Dkritis 0.165

LAMPIRAN

Lampiran 48 : Tabel Nilai D+ dan D- untuk ke-40 data parameter ε_{ult} tulangan D16

No.	X ε_{ult} (mm/mm)	Fx(x) frekuensi	Fo Matchcad	Fn	Fn-1	D+=Fn-Fo	D-=Fo-Fn-1
1	0.202	12.373	0.057	0.025	0.000	0.032	0.057
2	0.203	16.173	0.081	0.050	0.025	0.031	0.056
3	0.204	17.417	0.090	0.075	0.050	0.015	0.040
4	0.205	19.329	0.103	0.100	0.075	0.003	0.028
5	0.206	21.687	0.121	0.125	0.100	0.004	0.021
6	0.206	23.641	0.138	0.150	0.125	0.012	0.013
7	0.207	24.485	0.145	0.175	0.150	0.030	0.005
8	0.207	24.667	0.147	0.200	0.175	0.053	0.028
9	0.208	27.364	0.172	0.225	0.200	0.053	0.028
10	0.208	27.390	0.172	0.250	0.225	0.078	0.053
11	0.209	31.830	0.220	0.275	0.250	0.055	0.030
12	0.209	32.272	0.225	0.300	0.275	0.075	0.050
13	0.210	34.766	0.259	0.325	0.300	0.066	0.041
14	0.211	35.383	0.268	0.350	0.325	0.082	0.057
15	0.211	35.938	0.276	0.375	0.350	0.099	0.074
16	0.213	39.665	0.347	0.400	0.375	0.053	0.028
17	0.215	42.223	0.430	0.425	0.400	0.005	0.030
18	0.215	42.427	0.442	0.450	0.425	0.008	0.017
19	0.215	42.641	0.458	0.475	0.450	0.017	0.008
20	0.216	42.780	0.473	0.500	0.475	0.027	0.002
21	0.216	42.793	0.475	0.525	0.500	0.050	0.025
22	0.216	42.878	0.501	0.550	0.525	0.049	0.024
23	0.217	42.855	0.513	0.575	0.550	0.062	0.037
24	0.217	42.847	0.515	0.600	0.575	0.085	0.060
25	0.217	42.682	0.538	0.625	0.600	0.087	0.062
26	0.217	42.614	0.544	0.650	0.625	0.106	0.081
27	0.219	40.651	0.628	0.675	0.650	0.047	0.022
28	0.220	39.847	0.649	0.700	0.675	0.051	0.026
29	0.221	38.361	0.681	0.725	0.700	0.044	0.019
30	0.223	33.966	0.753	0.750	0.725	0.003	0.028
31	0.223	33.966	0.753	0.775	0.750	0.022	0.003
32	0.226	25.536	0.846	0.800	0.775	0.046	0.071
33	0.228	20.420	0.888	0.825	0.800	0.063	0.088
34	0.228	18.898	0.900	0.850	0.825	0.050	0.075
35	0.229	17.156	0.912	0.875	0.850	0.037	0.062
36	0.229	16.124	0.919	0.900	0.875	0.019	0.044
37	0.231	12.564	0.941	0.925	0.900	0.016	0.041
38	0.233	9.658	0.958	0.950	0.925	0.008	0.033
39	0.233	9.302	0.960	0.975	0.950	0.015	0.010
40	0.235	5.322	0.979	1.000	0.975	0.021	0.004
Berdasarkan tabel nilai kritis n = 40 $\alpha =$ 0.01					MAX	0.106	0.088
						0.252	
					DMAX 0.106	ok	Dkritis 0.165

LAMPIRAN

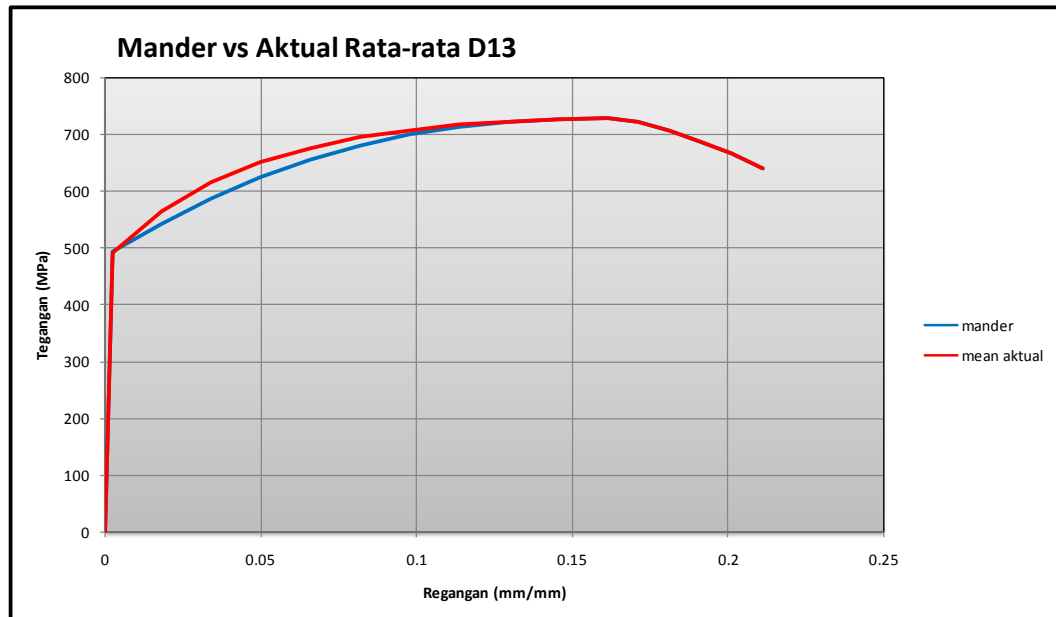
Lampiran 49 : Tabel Data regangan dan tegangan rata-rata aktual baja tulangan D13

Benda Uji D-13	Mean Aktual	
	Regangan (mm/mm)	Tegangan (Mpa)
	0	0
yield	0.002	491.272
Strain Hardening	0.002	491.272
	0.018	564.741
	0.034	614.688
	0.050	651.149
	0.066	673.845
	0.082	695.365
	0.098	705.762
	0.114	716.653
	0.130	721.992
	0.145	724.921
Strain Hardening Ultimate	0.161	727.844
	0.171	721.544
	0.181	705.355
	0.191	685.843
	0.201	665.972
Ultimate	0.211	639.252

Lampiran 50 : Tabel Data regangan dan tegangan rata-rata baja tulangan D13
Formula Mander

Benda Uji D-13	Mander	
	Regangan (mm/mm)	Tegangan (Mpa)
	0	0
yield	0.002	494.207
Strain Hardening	0.002	494.207
	0.018	542.003
	0.034	585.951
	0.050	623.345
	0.066	654.435
	0.082	679.498
	0.098	698.847
	0.114	712.842
	0.130	721.918
	0.145	726.633
Strain Hardening Ultimate	0.161	727.844
	0.171	721.544
	0.181	705.355
	0.191	685.843
	0.201	665.972
Ultimate	0.211	639.252

Lampiran 51 : Gambar Kurva tegangan-regangan baja Aktual-Mander tulangan D13



LAMPIRAN

Lampiran 52 : Tabel Momen Kurvatur $f'_c = 25$ MPa, Model Uji 1, D16

ec	Kd	Mn	ϕ	ϵ baja	ϵ beton	Myield	Kurvyield	$\mu\phi$
0.00025	97.636	42929167	2.561E-06	fase 1	fase 1	1.26E+08	7.5713E-06	0.33819
0.0005	98.1975	85114904	5.092E-06	fase 1	fase 1			0.67251
0.00075	99.0584	1.26E+08	7.571E-06	fase 1	fase 1			1
0.001	87.9133	1.45E+08	1.137E-05	fase 2	fase 1			1.50237
0.00125	74.9296	1.47E+08	1.668E-05	fase 2	fase 1			2.20337
0.0015	67.296	1.48E+08	2.229E-05	fase 2	fase 1			2.94396
0.00175	62.4878	1.49E+08	2.801E-05	fase 2	fase 1			3.6989
0.002	59.314	1.5E+08	3.372E-05	fase 2	fase 1			4.45352
0.00225	57.1517	1.51E+08	3.937E-05	fase 2	fase 1			5.19976
0.0025	55.6485	1.51E+08	4.492E-05	fase 2	fase 1			5.93358
0.00275	54.5919	1.52E+08	5.037E-05	fase 2	fase 2			6.65326
0.003	53.8473	1.52E+08	5.571E-05	fase 2	fase 2			7.35847
0.00325	53.4553	1.53E+08	6.08E-05	fase 2	fase 2			8.03014
0.0035	53.2695	1.54E+08	6.57E-05	fase 2	fase 2			8.678
0.00375	53.2391	1.56E+08	7.044E-05	fase 2	fase 2			9.30317
0.004	53.2391	1.57E+08	7.513E-05	fase 2	fase 2			9.92337
0.00425	53.2571	1.58E+08	7.98E-05	fase 2	fase 2			10.54
0.0045	53.2909	1.59E+08	8.444E-05	fase 2	fase 2			11.1529
0.00475	53.3385	1.6E+08	8.905E-05	fase 2	fase 2			11.762
0.005	53.3983	1.61E+08	9.364E-05	fase 2	fase 2			12.3672
0.00525	53.4688	1.62E+08	9.819E-05	fase 2	fase 2			12.9685
0.0055	53.5486	1.63E+08	0.0001027	fase 2	fase 2			13.5658
0.00575	53.6367	1.64E+08	0.0001072	fase 2	fase 2			14.1591
0.006	53.7319	1.65E+08	0.0001117	fase 2	fase 2			14.7486
0.00625	53.8333	1.66E+08	0.0001161	fase 2	fase 2			15.3341
0.0065	53.94	1.67E+08	0.0001205	fase 2	fase 2			15.9159
0.00675	54.0513	1.68E+08	0.0001249	fase 2	fase 2			16.4941
0.007	54.1665	1.68E+08	0.0001292	fase 2	fase 2			17.0686
0.00725	54.285	1.69E+08	0.0001336	fase 2	fase 2			17.6396
0.0075	54.4062	1.7E+08	0.0001379	fase 2	fase 2			18.2072
0.00775	54.5295	1.7E+08	0.0001421	fase 2	fase 2			18.7716
0.008	54.6545	1.71E+08	0.0001464	fase 2	fase 2			19.3328
0.00825	54.7807	1.72E+08	0.0001506	fase 2	fase 2			19.891
0.0085	54.9079	1.72E+08	0.0001548	fase 2	fase 2			20.4463
0.00875	55.0356	1.73E+08	0.000159	fase 2	fase 2			20.9988
0.009	55.1635	1.73E+08	0.0001632	fase 2	fase 2			21.5487
0.00925	55.2913	1.74E+08	0.0001673	fase 2	fase 2			22.0961
0.0095	55.4188	1.74E+08	0.0001714	fase 2	fase 2			22.641
0.00975	55.5458	1.75E+08	0.0001755	fase 2	fase 2			23.1837
0.01	55.672	1.75E+08	0.0001796	fase 2	fase 2			23.7243
0.01025	55.7973	1.76E+08	0.0001837	fase 2	fase 2			24.2628
0.0105	55.9215	1.76E+08	0.0001878	fase 2	fase 2			24.7994
0.01075	56.0549	1.77E+08	0.0001918	fase 2	fase 2			25.3294
0.011	56.1886	1.77E+08	0.0001958	fase 2	fase 2			25.8568
0.01125	56.3176	1.77E+08	0.0001998	fase 2	fase 2			26.3839
0.0115	56.4421	1.78E+08	0.0002037	fase 2	fase 2			26.9107
0.01175	56.5623	1.78E+08	0.0002077	fase 2	fase 2			27.4373
0.012	56.6783	1.78E+08	0.0002117	fase 2	fase 2			27.9637
0.01225	56.7905	1.79E+08	0.0002157	fase 2	fase 2			28.4899
0.0125	56.8989	1.79E+08	0.0002197	fase 2	fase 2			29.0159
0.01275	57.0037	1.79E+08	0.0002237	fase 2	fase 2			29.5418
0.013	57.105	1.79E+08	0.0002277	fase 2	fase 2			30.0676
0.01325	57.2031	1.8E+08	0.0002316	fase 2	fase 2			30.5933
0.0135	57.298	1.8E+08	0.0002356	fase 2	fase 2			31.1189
0.01375	57.3898	1.8E+08	0.0002396	fase 2	fase 2			31.6445
0.014	57.4788	1.8E+08	0.0002436	fase 2	fase 2			32.17
0.01425	57.5649	1.81E+08	0.0002475	fase 2	fase 2			32.6954
0.0145	57.6483	1.81E+08	0.0002515	fase 2	fase 2			33.2209
0.01475	57.7292	1.81E+08	0.0002555	fase 2	fase 2			33.7463
0.015	57.8076	1.81E+08	0.0002595	fase 2	fase 2			34.2718
0.01525	57.8836	1.81E+08	0.0002635	fase 2	fase 2			34.7972
0.0155	57.9573	1.82E+08	0.0002674	fase 2	fase 2			35.3227
0.01575	58.0287	1.82E+08	0.0002714	fase 2	fase 2			35.8482
0.016	58.0981	1.82E+08	0.0002754	fase 2	fase 2			36.3738
0.01625	57.849	1.82E+08	2.81E-04	fase 2	fase 2			37.101
0.01650	57.609	1.80E+08	2.86E-04	fase 2	fase 2			37.829
0.01675	57.379	1.79E+08	2.92E-04	fase 2	fase 2			38.556
0.01700	57.157	1.78E+08	2.97E-04	fase 2	fase 2			39.284
0.01725	56.943	1.76E+08	3.03E-04	fase 2	fase 2			40.011
0.01750	56.736	1.75E+08	3.08E-04	fase 2	fase 2			40.739
0.01775	56.537	1.73E+08	3.14E-04	fase 2	fase 2			41.466
0.01800	56.345	1.72E+08	3.19E-04	fase 2	fase 2			42.194
0.01825	56.159	1.70E+08	3.25E-04	fase 2	fase 2			42.921
0.01850	55.980	1.67E+08	3.30E-04	fase 2	fase 2			43.649
0.01875	55.806	1.65E+08	3.36E-04	fase 2	fase 2			44.376
0.01900	55.638	1.61E+08	3.41E-04	fase 2	fase 2			45.103
0.01925	55.476	1.57E+08	3.47E-04	fase 2	fase 2			45.831
0.01950	55.318	1.51E+08	3.53E-04	fase 2	fase 2			46.558
0.01975	55.165	1.46E+08	3.58E-04	fase 2	fase 2			47.286

LAMPIRAN

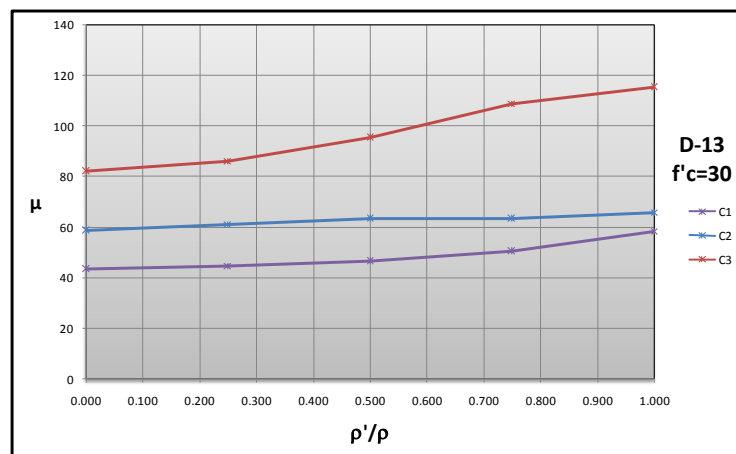
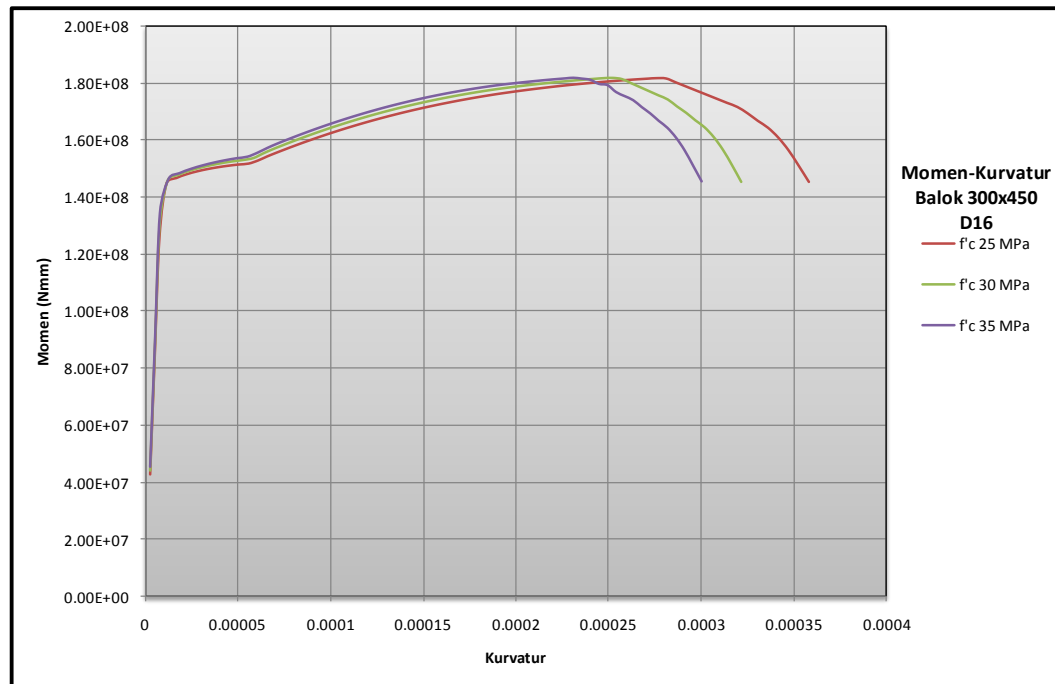
Lampiran 53 : Tabel Momen Kurvatur $f'_c = 30 \text{ MPa}$, Model Uji 1, D16

ec	Kd	Mn	ϕ	ϵ baja	ϵ beton	Myield	Kurvyield	$\mu\phi$
0.00025	95.6272	44235783	2.614E-06	fase 1	fase 1	1.31E+08	7.7613E-06	0.33684
0.0005	96.003	87950625	5.208E-06	fase 1	fase 1			0.67104
0.00075	96.6328	1.31E+08	7.761E-06	fase 1	fase 1			1
0.001	82.9963	1.46E+08	1.205E-05	fase 2	fase 1			1.5524
0.00125	70.7955	1.48E+08	1.766E-05	fase 2	fase 1			2.27493
0.0015	63.6429	1.49E+08	2.357E-05	fase 2	fase 1			3.03672
0.00175	59.1586	1.5E+08	2.958E-05	fase 2	fase 1			3.81139
0.002	56.222	1.51E+08	3.557E-05	fase 2	fase 1			4.58339
0.00225	54.2468	1.52E+08	4.148E-05	fase 2	fase 1			5.34406
0.0025	52.9003	1.53E+08	4.726E-05	fase 2	fase 1			6.08899
0.00275	51.981	1.53E+08	5.29E-05	fase 2	fase 2			6.81635
0.003	51.4062	1.54E+08	5.836E-05	fase 2	fase 2			7.51915
0.00325	51.1807	1.55E+08	6.35E-05	fase 2	fase 2			8.18164
0.0035	51.1113	1.57E+08	6.848E-05	fase 2	fase 2			8.82297
0.00375	51.1529	1.58E+08	7.331E-05	fase 2	fase 2			9.44548
0.004	51.2077	1.59E+08	7.811E-05	fase 2	fase 2			10.0644
0.00425	51.2744	1.6E+08	8.289E-05	fase 2	fase 2			10.6795
0.0045	51.3521	1.62E+08	8.763E-05	fase 2	fase 2			11.2906
0.00475	51.4397	1.63E+08	9.234E-05	fase 2	fase 2			11.8976
0.005	51.5365	1.64E+08	9.702E-05	fase 2	fase 2			12.5003
0.00525	51.6415	1.65E+08	0.0001017	fase 2	fase 2			13.0986
0.0055	51.754	1.66E+08	0.0001063	fase 2	fase 2			13.6925
0.00575	51.8733	1.67E+08	0.0001108	fase 2	fase 2			14.2819
0.006	51.9987	1.68E+08	0.0001154	fase 2	fase 2			14.867
0.00625	52.1296	1.68E+08	0.0001199	fase 2	fase 2			15.4475
0.0065	52.2653	1.69E+08	0.0001244	fase 2	fase 2			16.0237
0.00675	52.4052	1.7E+08	0.0001288	fase 2	fase 2			16.5956
0.007	52.5489	1.71E+08	0.0001332	fase 2	fase 2			17.1632
0.00725	52.6959	1.71E+08	0.0001376	fase 2	fase 2			17.7266
0.0075	52.8456	1.72E+08	0.0001419	fase 2	fase 2			18.2859
0.00775	52.9975	1.73E+08	0.0001462	fase 2	fase 2			18.8412
0.008	53.1514	1.73E+08	0.0001505	fase 2	fase 2			19.3927
0.00825	53.3067	1.74E+08	0.0001548	fase 2	fase 2			19.9405
0.0085	53.4632	1.75E+08	0.000159	fase 2	fase 2			20.4846
0.00875	53.6204	1.75E+08	0.0001632	fase 2	fase 2			21.0253
0.009	53.7781	1.76E+08	0.0001674	fase 2	fase 2			21.5626
0.00925	53.936	1.76E+08	0.0001715	fase 2	fase 2			22.0967
0.0095	54.0937	1.77E+08	0.0001756	fase 2	fase 2			22.6277
0.00975	54.2511	1.77E+08	0.0001797	fase 2	fase 2			23.1558
0.01	54.4079	1.77E+08	0.0001838	fase 2	fase 2			23.6811
0.01025	54.5639	1.78E+08	0.0001879	fase 2	fase 2			24.2037
0.0105	54.7353	1.78E+08	0.0001918	fase 2	fase 2			24.7164
0.01075	54.9023	1.78E+08	0.0001958	fase 2	fase 2			25.2279
0.011	55.0639	1.79E+08	0.0001998	fase 2	fase 2			25.7388
0.01125	55.2203	1.79E+08	0.0002037	fase 2	fase 2			26.2493
0.0115	55.3718	1.79E+08	0.0002077	fase 2	fase 2			26.7592
0.01175	55.5185	1.8E+08	0.0002116	fase 2	fase 2			27.2687
0.012	55.6606	1.8E+08	0.0002156	fase 2	fase 2			27.7777
0.01225	55.7984	1.8E+08	0.0002195	fase 2	fase 2			28.2864
0.0125	55.9321	1.8E+08	0.0002235	fase 2	fase 2			28.7947
0.01275	56.0617	1.81E+08	0.0002274	fase 2	fase 2			29.3027
0.013	56.1874	1.81E+08	0.0002314	fase 2	fase 2			29.8104
0.01325	56.3095	1.81E+08	0.0002353	fase 2	fase 2			30.3178
0.0135	56.428	1.81E+08	0.0002392	fase 2	fase 2			30.825
0.01375	56.5431	1.82E+08	0.0002432	fase 2	fase 2			31.3319
0.014	56.655	1.82E+08	0.0002471	fase 2	fase 2			31.8386
0.01425	56.536	1.82E+08	2.52E-04	fase 2	fase 2			32.475
0.01450	56.421	1.81E+08	2.57E-04	fase 2	fase 2			33.112
0.01475	56.311	1.80E+08	2.62E-04	fase 2	fase 2			33.749
0.01500	56.205	1.79E+08	2.67E-04	fase 2	fase 2			34.386
0.01525	56.103	1.77E+08	2.72E-04	fase 2	fase 2			35.022
0.01550	56.005	1.76E+08	2.77E-04	fase 2	fase 2			35.659
0.01575	55.909	1.74E+08	2.82E-04	fase 2	fase 2			36.296
0.01600	55.818	1.72E+08	2.87E-04	fase 2	fase 2			36.933
0.01625	55.729	1.70E+08	2.92E-04	fase 2	fase 2			37.570
0.01650	55.643	1.67E+08	2.97E-04	fase 2	fase 2			38.206
0.01675	55.560	1.65E+08	3.01E-04	fase 2	fase 2			38.843
0.01700	55.480	1.61E+08	3.06E-04	fase 2	fase 2			39.480
0.01725	55.402	1.57E+08	3.11E-04	fase 2	fase 2			40.117
0.01750	55.327	1.51E+08	3.16E-04	fase 2	fase 2			40.753
0.01775	55.254	1.45E+08	3.21E-04	fase 2	fase 2			41.390

Lampiran 54 : Tabel Momen Kurvatur $f'_c = 35 \text{ MPa}$, Model Uji 1, D16

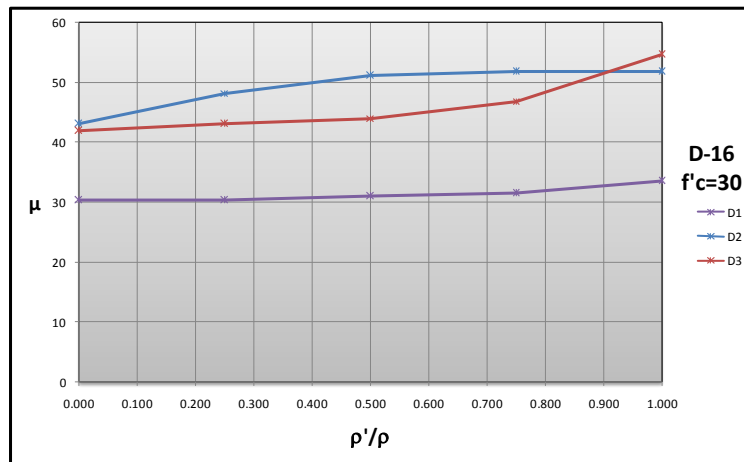
ec	Kd	Mn	ϕ	ϵ baja	ϵ beton	Myield	Kurvyield	$\mu\phi$
0.00025	93.9719	45355614	2.66E-06	fase 1	fase 1	1.35E+08	7.9203E-06	0.33589
0.0005	94.2281	90342407	5.306E-06	fase 1	fase 1			0.66996
0.00075	94.693	1.35E+08	7.92E-06	fase 1	fase 1			1
0.001	79.2592	1.47E+08	1.262E-05	fase 2	fase 1			1.59297
0.00125	67.6402	1.49E+08	1.848E-05	fase 2	fase 1			2.33325
0.0015	60.8289	1.5E+08	2.466E-05	fase 2	fase 1			3.11342
0.00175	56.5634	1.51E+08	3.094E-05	fase 2	fase 1			3.90624
0.002	53.7801	1.52E+08	3.719E-05	fase 2	fase 1			4.69531
0.00225	51.9226	1.53E+08	4.333E-05	fase 2	fase 1			5.4712
0.0025	50.6741	1.54E+08	4.933E-05	fase 2	fase 1			6.22888
0.00275	49.8418	1.54E+08	5.517E-05	fase 2	fase 2			6.9662
0.003	49.4379	1.56E+08	6.068E-05	fase 2	fase 2			7.66157
0.00325	49.2719	1.57E+08	6.596E-05	fase 2	fase 2			8.328
0.0035	49.2753	1.59E+08	7.103E-05	fase 2	fase 2			8.96799
0.00375	49.3701	1.6E+08	7.596E-05	fase 2	fase 2			9.59011
0.004	49.4713	1.61E+08	8.085E-05	fase 2	fase 2			10.2085
0.00425	49.5789	1.63E+08	8.572E-05	fase 2	fase 2			10.823
0.0045	49.6928	1.64E+08	9.056E-05	fase 2	fase 2			11.4334
0.00475	49.813	1.65E+08	9.536E-05	fase 2	fase 2			12.0395
0.005	49.9392	1.66E+08	0.0001001	fase 2	fase 2			12.6411
0.00525	50.0714	1.67E+08	0.0001049	fase 2	fase 2			13.2381
0.0055	50.2091	1.68E+08	0.0001095	fase 2	fase 2			13.8305
0.00575	50.3521	1.69E+08	0.0001142	fase 2	fase 2			14.4181
0.006	50.5002	1.7E+08	0.0001188	fase 2	fase 2			15.0008
0.00625	50.6529	1.71E+08	0.0001234	fase 2	fase 2			15.5788
0.0065	50.8099	1.71E+08	0.0001279	fase 2	fase 2			16.1518
0.00675	50.9709	1.72E+08	0.0001324	fase 2	fase 2			16.7201
0.007	51.1355	1.73E+08	0.0001369	fase 2	fase 2			17.2835
0.00725	51.3033	1.74E+08	0.0001413	fase 2	fase 2			17.8422
0.0075	51.474	1.74E+08	0.0001457	fase 2	fase 2			18.3963
0.00775	51.6473	1.75E+08	0.0001501	fase 2	fase 2			18.9457
0.008	51.8227	1.76E+08	0.0001544	fase 2	fase 2			19.4906
0.00825	52	1.76E+08	0.0001587	fase 2	fase 2			20.0312
0.0085	52.1789	1.77E+08	0.0001629	fase 2	fase 2			20.5675
0.00875	52.3589	1.77E+08	0.0001671	fase 2	fase 2			21.0996
0.009	52.5398	1.78E+08	0.0001713	fase 2	fase 2			21.6277
0.00925	52.7213	1.78E+08	0.0001755	fase 2	fase 2			22.152
0.0095	52.9032	1.79E+08	0.0001796	fase 2	fase 2			22.6725
0.00975	53.0851	1.79E+08	0.0001837	fase 2	fase 2			23.1894
0.01	53.2668	1.79E+08	0.0001877	fase 2	fase 2			23.7028
0.01025	53.4547	1.8E+08	0.0001918	fase 2	fase 2			24.21
0.0105	53.6539	1.8E+08	0.0001957	fase 2	fase 2			24.7084
0.01075	53.847	1.8E+08	0.0001996	fase 2	fase 2			25.206
0.011	54.0344	1.81E+08	0.0002036	fase 2	fase 2			25.7027
0.01125	54.2162	1.81E+08	0.0002075	fase 2	fase 2			26.1987
0.0115	54.3927	1.81E+08	0.0002114	fase 2	fase 2			26.694
0.01175	54.5641	1.81E+08	0.0002153	fase 2	fase 2			27.1886
0.012	54.7307	1.82E+08	0.0002193	fase 2	fase 2			27.6826
0.01225	54.8925	1.82E+08	0.0002232	fase 2	fase 2			28.176
0.0125	55.0499	1.82E+08	0.0002271	fase 2	fase 2			28.6688
0.01275	55.203	1.82E+08	0.000231	fase 2	fase 2			29.1611
0.01300	55.182	1.82E+08	2.36E-04	fase 2	fase 2			29.744
0.01325	55.161	1.81E+08	2.40E-04	fase 2	fase 2			30.328
0.01350	55.142	1.80E+08	2.45E-04	fase 2	fase 2			30.911
0.01375	55.123	1.80E+08	2.49E-04	fase 2	fase 2			31.494
0.01400	55.105	1.77E+08	2.54E-04	fase 2	fase 2			32.077
0.01425	55.087	1.76E+08	2.59E-04	fase 2	fase 2			32.660
0.01450	55.070	1.74E+08	2.63E-04	fase 2	fase 2			33.244
0.01475	55.054	1.72E+08	2.68E-04	fase 2	fase 2			33.827
0.01500	55.038	1.70E+08	2.73E-04	fase 2	fase 2			34.410
0.01525	55.023	1.67E+08	2.77E-04	fase 2	fase 2			34.993
0.01550	55.008	1.65E+08	2.82E-04	fase 2	fase 2			35.577
0.01575	54.993	1.61E+08	2.86E-04	fase 2	fase 2			36.160
0.01600	54.980	1.57E+08	2.91E-04	fase 2	fase 2			36.743
0.01625	54.966	1.51E+08	2.96E-04	fase 2	fase 2			37.326
0.01650	54.953	1.46E+08	3.00E-04	fase 2	fase 2			37.909

Lampiran 57 : Gambar Momen-Kurvatur Model Uji 1, D16

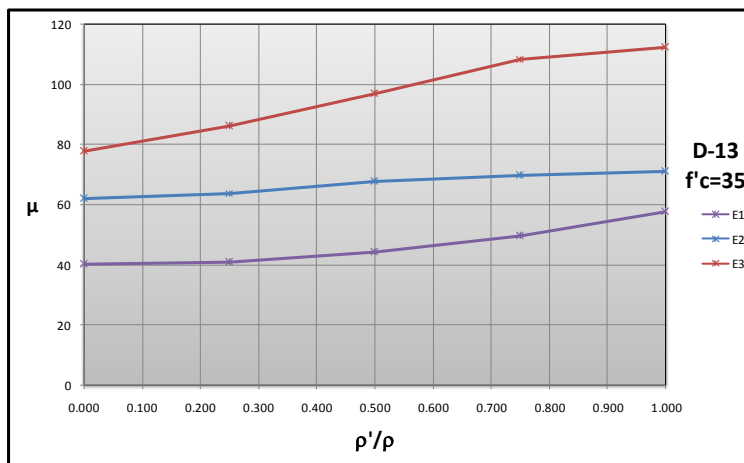


Lampiran 58 : Gambar Daktilitas Kurvatur – Rasio Luas Tulangan Baja Berdasarkan Tipe Balok

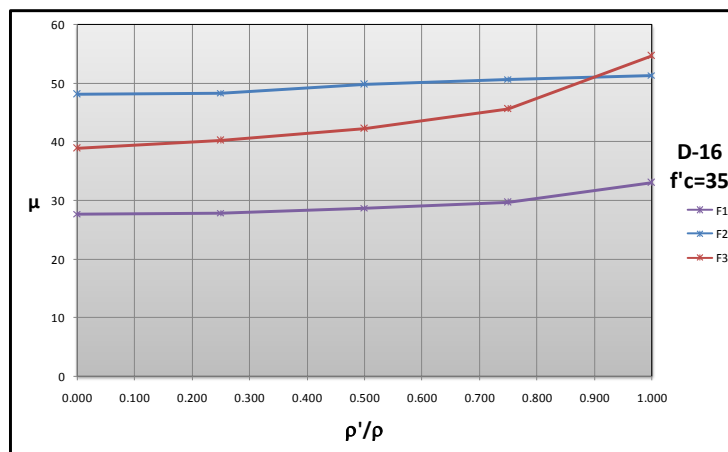
LAMPIRAN



Lampiran 59 : Gambar Daktilitas Kurvatur – Rasio Luas Tulangan Baja Berdasarkan Tipe Balok



Lampiran 60 : Gambar Daktilitas Kurvatur – Rasio Luas Tulangan Baja Berdasarkan Tipe Balok



Lampiran 61 : Gambar Daktilitas Kurvatur – Rasio Luas Tulangan Baja Berdasarkan Luas Tulangan

LAMPIRAN

Lampiran 62 : Tabel Pengaruh Rasio Tulangan terhadap $\mu\phi$ dan overstrength factor

Diameter Baja	f'c	b x h	jarak sengkang	mutu sengkang	ρ'/ρ	$\mu\phi$ mean	λ_{max} mean
D13	25 MPa	300x450 mm	100 mm	300	1.00	59.525	1.401
					0.75	52.967	1.403
					0.50	50.514	1.406
					0.25	49.743	1.401
					0.00	48.683	1.434
	30 MPa	300x450 mm	100 mm	300	1.00	58.402	1.379
					0.75	50.302	1.383
					0.50	46.461	1.391
					0.25	44.708	1.409
					0.00	43.491	1.435
	35 MPa	300x450 mm	100 mm	300	1.00	57.715	1.365
					0.75	49.642	1.370
					0.50	44.181	1.384
					0.25	40.832	1.431
					0.00	40.196	1.445
D16	25 MPa	300x450 mm	100 mm	300	1.00	33.610	1.215
					0.75	34.445	1.217
					0.50	34.061	1.219
					0.25	34.136	1.221
					0.00	34.218	1.223
	30 MPa	300x450 mm	100 mm	300	1.00	33.470	1.212
					0.75	31.505	1.206
					0.50	31.037	1.205
					0.25	30.374	1.204
					0.00	30.326	1.206
	35 MPa	300x450 mm	100 mm	300	1.00	33.007	1.213
					0.75	29.658	1.200
					0.50	28.757	1.196
					0.25	27.897	1.193
					0.00	27.734	1.193

Lampiran 63 : Tabel Pengaruh Rasio Tulangan terhadap $\mu\phi$ dan overstrength factor

Diameter Baja	f'c	b x h	jarak sengkang	mutu sengkang	ρ'/ρ	$\mu\phi$ mean	λ_{max} mean
D13	25 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	113.962	1.474
					0.75	107.380	1.466
					0.50	96.350	1.455
					0.25	92.304	1.448
					0.00	89.413	1.443
	30 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	115.474	1.473
					0.75	108.910	1.463
					0.50	95.462	1.452
					0.25	86.252	1.439
					0.00	82.111	1.430
	35 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	112.279	1.473
					0.75	108.484	1.460
					0.50	96.799	1.450
					0.25	86.157	1.438
					0.00	77.775	1.423
D16	25 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	55.080	1.256
					0.75	49.704	1.250
					0.50	48.370	1.248
					0.25	47.044	1.247
					0.00	46.043	1.247
	30 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	54.635	1.255
					0.75	46.841	1.247
					0.50	44.013	1.242
					0.25	43.113	1.239
					0.00	41.921	1.237
	35 MPa	400x600 mm	100 mm	300	1.00	54.664	1.256
					0.75	45.614	1.247
					0.50	42.226	1.239
					0.25	40.268	1.234
					0.00	38.909	1.231

Lampiran 64 : Tabel Pengaruh Rasio Tulangan terhadap $\mu\phi$ dan overstrength factor

Diameter Baja	f'c	b x h	jarak sengkang	mutu sengkang	ρ'/ρ	$\mu\phi$ mean	λ_{max} mean
D13	25 MPa	300x600 mm	100 mm	300	1.00	67.721	1.470
					0.75	63.007	1.457
					0.50	62.567	1.457
					0.25	61.370	1.470
					0.00	58.692	1.459
	30 MPa	300x600 mm	100 mm	300	1.00	65.889	1.469
					0.75	63.368	1.442
					0.50	63.327	1.458
					0.25	61.238	1.445
					0.00	58.596	1.449
	35 MPa	300x600 mm	100 mm	300	1.00	71.020	1.469
					0.75	69.750	1.430
					0.50	67.801	1.457
					0.25	63.787	1.435
					0.00	62.024	1.443
D16	25 MPa	300x600 mm	100 mm	300	1.00	56.269	1.256
					0.75	53.618	1.255
					0.50	46.157	1.254
					0.25	43.010	1.253
					0.00	39.084	1.251
	30 MPa	300x600 mm	100 mm	300	1.00	51.850	1.246
					0.75	51.769	1.246
					0.50	51.175	1.246
					0.25	48.199	1.246
					0.00	43.096	1.248
	35 MPa	300x600 mm	100 mm	300	1.00	51.372	1.248
					0.75	50.695	1.242
					0.50	49.769	1.240
					0.25	48.337	1.238
					0.00	48.095	1.238

LAMPIRAN 65

Listing Program Perhitungan Momen kurvatur Dengan model tegangan-regangan beton oleh Kappos Kostantinidis dan Baja oleh Mander

```

Sub Jalan100()
'On Error Resume Next
Const PI = 3.1415
Dim a, i, b, carimyield, nol(200), cari10, cari20, cariten(200), caritwenty(200), m As Integer
Dim kurv, kurvyield, kurvyield1, kurvduct, myield, Fctot, h, Fs1, Fs2, es1, es2, esu, eca, ecc50 As
Double
Dim Pn As Double
Dim Mn As Double
Dim Kd As Double
For m = 1 To 800
Sheet1.Cells(4, 14) = m
Sheet1.Cells(21, 2) = Sheet2.Cells(2 + m, 2)
Sheet1.Cells(22, 2) = Sheet2.Cells(2 + m, 6)
Sheet1.Cells(23, 2) = Sheet2.Cells(2 + m, 8)
Sheet1.Cells(24, 2) = Sheet2.Cells(2 + m, 9)
Sheet1.Cells(26, 2) = Sheet2.Cells(2 + m, 5)
Sheet1.Cells(27, 2) = Sheet2.Cells(2 + m, 7)
Sheet1.Cells(32, 2) = Sheet2.Cells(2 + m, 16)
For a = 1 To 10000
Sheet1.Cells(3, 2) = 0.00025 * a
esy = Sheet1.Cells(25, 2)
ecc = Sheet1.Cells(8, 7)
ecc50 = Sheet1.Cells(7, 7)
esu = Sheet1.Cells(27, 2)
h = Sheet1.Cells(9, 2)
ulanglagi:      For i = 1 To 100
                Sheet1.Cells(15, 7) = h - (5 * (i - 1))
                Range("N37").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("G15")
                If Sheet1.Cells(36, 13) - Sheet1.Cells(36, 16) < 0.01 And Sheet1.Cells(15, 7) > 0
Then
                GoTo finish1

```

LAMPIRAN

```
End If
Next i
finish1:
    es1 = Sheet1.Cells(27, 7)
    es2 = Sheet1.Cells(28, 7)
    eca = Sheet1.Cells(3, 2)
    Kd = Sheet1.Cells(15, 7)
    Fctot = Sheet1.Cells(26, 7)
    Fs1 = Sheet1.Cells(33, 7)
    Fs2 = Sheet1.Cells(34, 7)
    Pn = Sheet1.Cells(36, 7)
    Mn = Sheet1.Cells(36, 11)
    'status regangan baja dan beton
    If eca > ecc50 Then
        GoTo finish
    End If

    If es2 > esu Then
        GoTo finish
    End If

    If eca <= ecc Then
        Sheet1.Cells((2 + a), 29) = "fase 1"
    ElseIf eca >= ecc And eca <= ecc50 Then
        Sheet1.Cells((2 + a), 29) = "fase 2"
    Else
        Sheet1.Cells((2 + a), 29) = "fase 3"
    End If

    If es2 < esy Then
        Sheet1.Cells(2 + a, 28) = "fase 1"
    ElseIf es2 > esy And es2 < esu Then
        Sheet1.Cells(2 + a, 28) = "fase 2"
    Else
        Sheet1.Cells(2 + a, 28) = "fase 2"
    End If
```


LAMPIRAN

'output text

If $K_d > h$ Then

Sheet1.Cells(2 + a, 18) = eca

Sheet1.Cells(2 + a, 19) = 0

Sheet1.Cells(2 + a, 20) = 0

Sheet1.Cells(2 + a, 21) = 0

Sheet1.Cells(2 + a, 22) = 0

Sheet1.Cells(2 + a, 23) = 0

Sheet1.Cells(2 + a, 24) = 0

Sheet1.Cells(2 + a, 25) = 0

Sheet1.Cells(2 + a, 26) = 0

Sheet1.Cells(2 + a, 27) = 0

Else

Sheet1.Cells(2 + a, 18) = eca

Sheet1.Cells(2 + a, 19) = K_d

Sheet1.Cells(2 + a, 20) = Fctot

Sheet1.Cells(2 + a, 21) = Fs1

Sheet1.Cells(2 + a, 22) = Fs2

Sheet1.Cells(2 + a, 23) = Pn

Sheet1.Cells(2 + a, 24) = Mn

Sheet1.Cells(2 + a, 25) = eca / K_d

Sheet1.Cells(2 + a, 26) = es1

Sheet1.Cells(2 + a, 27) = es2

End If

Next a

finish:

'cari m yield

carimyield = 0

For yy = 1 To 200

If Sheet1.Cells((2 + yy), 28) = Sheet1.Cells(3, 28) And Sheet1.Cells((2 + yy), 29) =

Sheet1.Cells(3, 29) Then

nol(yy) = 1

Else: nol(yy) = 0

End If

carimyield = nol(yy) + carimyield

Next yy

LAMPIRAN

```
Sheet1.Cells(3, 30) = Sheet1.Cells(2 + carimyield, 24)
```

```
Sheet1.Cells(3, 31) = Sheet1.Cells(2 + carimyield, 25)
```

```
myield = Sheet1.Cells(3, 30)
```

```
kurvyield1 = Sheet1.Cells(3, 31)
```

```
'cari kurvatur ductility
```

```
For b = 1 To (a - 1)
```

```
If Sheet1.Cells(2 + b, 19) = 0 Then
```

```
Sheet1.Cells(2 + b, 32) = 0
```

```
Sheet1.Cells(2 + b, 33) = 0
```

```
Else
```

```
'Sheet1.Cells(2 + b, 32) = (Sheet1.Cells(2 + b, 24) / myield) * kurvyield1
```

```
Sheet1.Cells(2 + b, 33) = Sheet1.Cells(2 + b, 25) / Sheet1.Cells(3, 31)
```

```
End If
```

```
Next b
```

```
cari10 = 0
```

```
For ww = 1 To 200
```

```
If Sheet1.Cells((2 + ww), 33) < 10 Then
```

```
cariten(ww) = 1
```

```
Else: cariten(ww) = 0
```

```
End If
```

```
cari10 = cariten(ww) + cari10
```

```
If Sheet1.Cells((2 + ww), 33) > 10 Then
```

```
cariten(ww) = 1
```

```
cari10 = cariten(ww) + cari10
```

```
GoTo cari10
```

```
End If
```

```
Next ww
```

```
cari10:
```

```
Sheet1.Cells(6, 39) = Sheet1.Cells(2 + cari10, 24)
```

```
cari20 = 0
```

```
For zz = 1 To 200
```

```
If Sheet1.Cells((2 + zz), 33) < 20 Then
```

LAMPIRAN

```
caritwenty(zz) = 1
Else: caritwenty(zz) = 0
End If
cari20 = caritwenty(zz) + cari20
```

```
If Sheet1.Cells((2 + zz), 33) > 20 Then
caritwenty(zz) = 1
cari20 = caritwenty(zz) + cari20
GoTo cari20
End If
```

```
Next zz
```

```
cari20:
Sheet1.Cells(9, 39) = Sheet1.Cells(2 + cari20, 24)
```

```
Range("AY13").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("AJ13")
```

```
Sheet2.Cells(2 + m, 11) = Sheet1.Cells(3, 34)
Sheet2.Cells(2 + m, 12) = Sheet1.Cells(7, 39)
Sheet2.Cells(2 + m, 13) = Sheet1.Cells(10, 39)
Sheet2.Cells(2 + m, 14) = Sheet1.Cells(18, 39)
```

```
Range("R3:AG500").Select
Selection.ClearContents
Range("A2").Select
```

```
Next m
```

```
MsgBox ("Program perhitungan selesai")
End Sub
```

```
Public Sub Run()
'On Error Resume Next
Const PI = 3.1415
```

```
Dim a, i, b, carimiyield, nol(200), cari10, cari20, cariten(200), caritwenty(200) As Integer
```

LAMPIRAN

Dim kurv, kurvyield, kurvyield1, kurvduct, myield, Fctot, h, Fs1, Fs2, es1, es2, esu, eca, ecc50 As

Double

Dim Pn As Double

Dim Mn As Double

Dim Kd As Double

ecc50 = Sheet1.Cells(7, 7)

esu = Sheet1.Cells(27, 2)

h = Sheet1.Cells(9, 2)

For a = 1 To 10000

Sheet1.Cells(3, 2) = 0.00025 * a

esy = Sheet1.Cells(25, 2)

ecc = Sheet1.Cells(8, 7)

ulanglagi: For i = 1 To 100

Sheet1.Cells(15, 7) = h - (5 * (i - 1))

Range("N37").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("G15")

If Sheet1.Cells(36, 13) - Sheet1.Cells(36, 16) < 0.01 And Sheet1.Cells(15, 7) > 0

Then

GoTo finish1

End If

Next i

finish1:

es1 = Sheet1.Cells(27, 7)

es2 = Sheet1.Cells(28, 7)

eca = Sheet1.Cells(3, 2)

Kd = Sheet1.Cells(15, 7)

Fctot = Sheet1.Cells(26, 7)

Fs1 = Sheet1.Cells(33, 7)

Fs2 = Sheet1.Cells(34, 7)

Pn = Sheet1.Cells(36, 7)

Mn = Sheet1.Cells(36, 11)

'status regangan baja dan beton

LAMPIRAN

```
If eca > ecc50 Then
GoTo finish
End If
```

```
If es2 > esu Then
GoTo finish
End If
```

```
If eca <= ecc Then
    Sheet1.Cells((2 + a), 29) = "fase 1"
    ElseIf eca >= ecc And eca <= ecc50 Then
        Sheet1.Cells((2 + a), 29) = "fase 2"
    Else
        Sheet1.Cells((2 + a), 29) = "fase 3"
    End If
```

```
If es2 < esy Then
    Sheet1.Cells(2 + a, 28) = "fase 1"
    ElseIf es2 > esy And es2 < esu Then
        Sheet1.Cells(2 + a, 28) = "fase 2"
    Else
        Sheet1.Cells(2 + a, 28) = "fase 2"
    End If
```

'output text

```
If Kd > h Then
    Sheet1.Cells(2 + a, 18) = eca
    Sheet1.Cells(2 + a, 19) = 0
    Sheet1.Cells(2 + a, 20) = 0
    Sheet1.Cells(2 + a, 21) = 0
    Sheet1.Cells(2 + a, 22) = 0
    Sheet1.Cells(2 + a, 23) = 0
    Sheet1.Cells(2 + a, 24) = 0
    Sheet1.Cells(2 + a, 25) = 0
    Sheet1.Cells(2 + a, 26) = 0
    Sheet1.Cells(2 + a, 27) = 0
Else
```

LAMPIRAN

```
Sheet1.Cells(2 + a, 18) = eca
Sheet1.Cells(2 + a, 19) = Kd
Sheet1.Cells(2 + a, 20) = Fctot
Sheet1.Cells(2 + a, 21) = Fs1
Sheet1.Cells(2 + a, 22) = Fs2
Sheet1.Cells(2 + a, 23) = Pn
Sheet1.Cells(2 + a, 24) = Mn
Sheet1.Cells(2 + a, 25) = eca / Kd
Sheet1.Cells(2 + a, 26) = es1
Sheet1.Cells(2 + a, 27) = es2
End If
Next a
```

finish:

'cari m yield

carimyield = 0

For yy = 1 To 200

If Sheet1.Cells((2 + yy), 28) = Sheet1.Cells(3, 28) And Sheet1.Cells((2 + yy), 29) =

Sheet1.Cells(3, 29) Then

nol(yy) = 1

Else: nol(yy) = 0

End If

carimyield = nol(yy) + carimyield

Next yy

Sheet1.Cells(3, 30) = Sheet1.Cells(2 + carimyield, 24)

Sheet1.Cells(3, 31) = Sheet1.Cells(2 + carimyield, 25)

myield = Sheet1.Cells(3, 30)

kurvyield1 = Sheet1.Cells(3, 31)

'cari kurvatur ductility

For b = 1 To (a - 1)

If Sheet1.Cells(2 + b, 19) = 0 Then

Sheet1.Cells(2 + b, 32) = 0

Sheet1.Cells(2 + b, 33) = 0

Else

'Sheet1.Cells(2 + b, 32) = (Sheet1.Cells(2 + b, 24) / myield) * kurvyield1

Sheet1.Cells(2 + b, 33) = Sheet1.Cells(2 + b, 25) / Sheet1.Cells(3, 31)

LAMPIRAN

End If

Next b

cari10 = 0

For ww = 1 To 200

If Sheet1.Cells((2 + ww), 33) < 10 Then

cariten(ww) = 1

Else: cariten(ww) = 0

End If

cari10 = cariten(ww) + cari10

If Sheet1.Cells((2 + ww), 33) > 10 Then

cariten(ww) = 1

cari10 = cariten(ww) + cari10

GoTo cari10

End If

Next ww

cari10:

Sheet1.Cells(6, 39) = Sheet1.Cells(2 + cari10, 24)

cari20 = 0

For zz = 1 To 200

If Sheet1.Cells((2 + zz), 33) < 20 Then

caritwenty(zz) = 1

Else: caritwenty(zz) = 0

End If

cari20 = caritwenty(zz) + cari20

If Sheet1.Cells((2 + zz), 33) > 20 Then

caritwenty(zz) = 1

cari20 = caritwenty(zz) + cari20

GoTo cari20

End If

Next zz

LAMPIRAN

cari20:

Sheet1.Cells(9, 39) = Sheet1.Cells(2 + cari20, 24)

Range("AY13").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("AJ13")

MsgBox ("Program perhitungan selesai")

End Sub

Sub clear()

Range("R3:AG500").Select

Selection.ClearContents

Range("A2").Select

End Sub

Sub interpolasi()

On Error Resume Next

Range("N37").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("G15")

End Sub